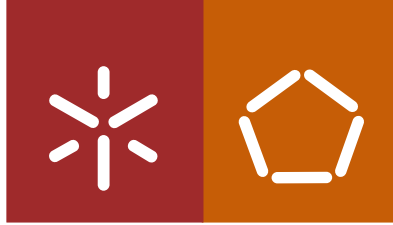


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Arcélia Margarida Gomes Araújo

Linhas de soldadura em extrusão de perfis



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Arcélia Margarida Gomes Araújo

Linhas de soldadura em extrusão de perfis

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Propriedades e Tecnologia de Polímeros

Trabalho realizado após orientação da
Professora Doutora Olga Carneiro
e do
Professor Doutor Miguel Nóbrega

Abril 2013

DECLARAÇÃO

Nome: Arcélia Margarida Gomes Araújo

Endereço eletrónico: arcelia_a@hotmail.com

Título dissertação tese: Linhas de soldadura em extrusão de perfis

Orientadores: Professora Doutora Olga Carneiro e Professor Doutor Miguel Nóbrega

Ano de conclusão: 2013

Designação do Mestrado: Mestrado em Propriedades e Tecnologias de Polímeros

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

Agradecimentos

Diversas pessoas contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho, a todos gostaria de expressar o meu profundo agradecimento.

Aos Professores Olga Carneiro e Miguel Nóbrega, gostaria de agradecer, a oportunidade que me ofereceram, ao integrar este projeto a orientação científica, pelos sempre sábios e oportunos conselhos e pelo constante apoio durante todo o trabalho.

Gostaria de agradecer de forma especial ao Tiago, à Joana, e ao Armando pela enorme disponibilidade, pelo constante apoio ao longo de todo o trabalho.

Ao departamento de polímeros e aos seus técnicos, que sempre me prestaram o auxílio necessário.

No final desta importante etapa, gostaria de expressar também o meu agradecimento a todos os professores do meu percurso escolar e académico, porque a eles se deve muito do meu enriquecimento científico, mas também humano.

Aos meus amigos Daniela, Joana, Maria, Artur e Pedro agradeço o constante incentivo, o companheirismo, e a alegria partilhada no decorrer do meu percurso académico.

Finalmente a toda a minha família, em especial aos meus pais, agradeço à paciência, o carinho, e o constante apoio. Aos meus queridos sobrinhos agradeço os sorrisos nas horas mais improváveis.

A todos muito obrigada!!

Resumo

Linhas de soldadura são uma das consequências da separação e posterior junção de duas ou mais frentes de fluxo, que ocorrem em escoamentos inerentes a processos de transformação de polímeros e metais, pelo que originam, normalmente, zonas menos resistentes nas peças produzidas. O presente trabalho incidirá no estudo do efeito de linhas de soldadura em perfis termoplásticos extrudidos, uma vez que não existe na literatura qualquer estudo sistemático sobre este assunto, ao contrário do que acontece em injeção de polímeros e metais.

Para o desenvolvimento do estudo sobre o efeito das linhas de soldadura, foi necessário conceber uma cabeça de extrusão que promovesse a formação destas linhas, de forma controlada. A cabeça de extrusão foi projetada com o propósito de permitir alterar a localização axial (na direção de escoamento) do local onde se forma a linha de soldadura, sendo também possível monitorizar a pressão a que esta se forma.

O estudo a realizar incluirá três etapas principais: seleção dos materiais a utilizar e caracterização reológica dos mesmos, extrusão e caracterização de perfis produzidos em diferentes condições de processamento e, por último, sistematização dos resultados obtidos (isto é, estabelecimento de relações condições de processamento-qualidade da linha de soldadura).

Os resultados deste trabalho demonstram que, a linha de soldadura afeta a uniformidade da espessura da área transversal e a deformação de rotura; a linha de soldadura não afeta a tensão de cedência; que a temperatura de extrusão não afeta significativamente a qualidade da linha de soldadura

Abstract

Welding lines are formed as a consequence of the separation and subsequent joining of two or more flow fronts, occurring in the flows inherent to the polymers and metals transformation processes. Generally, in the produced parts these regions are the less resistant than the remaining. This work will focus on the study of the effect of welding lines in extruded thermoplastic profiles, since there is no systematic study in the literature on this subject, unlike injection of polymers and metals.

For the development of this study it was necessary to devise an extrusion die where the formation of these lines occurs in a controlled manner. The extrusion die was designed with the purpose of allowing changing the axial location (in the flow direction) of the weld line formation

The study will include three main steps: selection of the materials to be used in the extrusion runs and their rheological characterization, extrusion and characterization of profiles produced at different processing conditions and, finally, systematization of the results (i.e., establishing relationships processing conditions-quality of the welding line).

The results of this study demonstrate the weld line affects the thickness uniformity of the cross-section and the strain at rupture; the weld line does not affect the yield stress; the extrusion temperature has no significant effect on the quality of the weld line.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract	v
Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas.....	xi
Lista de abreviaturas e símbolos	xii
<i>Capítulo 1-Introdução.....</i>	<i>1</i>
1.1 Processamento de polímeros termoplásticos	2
1.2 Linhas de soldadura.....	3
1.2.1 Linhas de soldadura em moldação por injeção	3
1.2.2 Linhas de soldadura em extrusão	6
1.3 Objetivos	9
1.4 Organização da dissertação	10
<i>Capítulo 2-Materiais e Métodos</i>	<i>11</i>
2.1 Materiais.....	12
2.2 Caracterização reológica dos materiais	14
2.2.1 Reometria de pratos paralelos	15
2.2.1.2 Ensaio em regime estacionário	18
2.2.2 Reometria capilar	20
2.2.3 Obtenção de Modelos Reológicos	22
2.3 Sistema de extrusão.....	23
2.3.1 Cabeça de Extrusão	24
2.3.2 Equipamento acessório.....	27
2.4 Métodos - Caracterização do extrudido.....	30
<i>Capítulo 3-Apresentação e Discussão de resultados</i>	<i>33</i>
3.1 Reologia	34
3.1.1 Curvas de fluxo	34
3.1.2 Reometria oscilatória.....	37

3.2	Processamento.....	38
3.2.1	Processamento PP	41
3.2.2	Processamento do GFPP	43
3.2.3	Processamento do PS	45
3.3	Caracterização mecânica.....	47
3.3.1	Caracterização Mecânica do PP	47
3.3.2	Caracterização mecânica do GFPP.....	51
3.3.3	Caracterização mecânica do PS.....	53
	<i>Capítulo 4-Conclusão</i>	56
4	Conclusões	57
5	Sugestão para trabalhos futuros.....	58
6	Bibliografia	59
	Anexos.....	61

Índice de Figuras

Figura 1.1: Esquematização da formação das linhas de soldadura durante o encontro das frentes de fluxo (Adaptado de [8])	4
Figura 1.2: Exemplo do efeito estético provocado por uma linha de soldadura	4
Figura 1.3: Resistência à tração dos provetes com e sem linhas de soldadura para diferentes valores de AO e temperatura de injeção (adaptado de [11]).....	5
Figura 1.4: Resistência à tração de provetes com e sem linhas de soldadura: efeito do AO e da pressão posterior (adaptado de [11]).	6
Figura 1.5: Defeitos originados em produtos com linhas de soldadura (a) ilustração esquemática; (b) linha de soldadura à superfície; (c) vazios na secção transversal [7]....	7
Figura 2.1: Esquematização do sistema de pratos paralelos onde é colocada a amostra	15
Figura 2.2: Reómetro utilizados nos ensaios em corte e em regime oscilatório	16
Figura 2.3: Comportamento típico, em termos de G' e G'' , de um polímero viscoelástico	18
Figura 2.4: Esquematização do ensaio de reometria de pratos paralelos em regime de corte	19
Figura 2.5: Exemplos de curvas obtidas por reometria em pratos paralelos em ensaios de corte	19
Figura 2.6: Exemplo do funcionamento do reómetro capilar.....	21
Figura 2.7: Reómetro capilar utilizado.....	22
Figura 1.8: Comportamento típico de intersecção das curvas obtidas através do reómetro capilar e reómetro de pratos paralelos.....	23
Figura 2.9: Configuração geral de uma extrusora monofuso[21].	24
Figura 2.10: Geometrias da alheta em 3D (a) e real (b); parafusos de aperto 3D (c); efeito real (d); posicionamento da alheta no interior da fieira (e); alheta no interior da fieira (f).....	25
Figura 2.11: Imagem da garra a 3D e imagem real inserida na cabeça de extrusão	26
Figura 2.12: Furos para os transdutores de pressão na parte superior da fieira (a) e na parte interior da mesma (b).....	27

Figura 2.13: posicionamento da fieira relativamente à calandra a); efeito o estrangulamento da fita b)	28
Figura 2.14: Acabamento superficial da fita produzida com recurso à calandra	28
Figura 2.15: Esquema do funcionamento do equipamento acessório acoplado à extrusora	29
Figura 2.16: Provelte centrado entre amarras.....	31
Figura 2.17: Exemplo de curva tensão-deformação típica obtida num ensaio de tração (Adaptado de [23]).....	32
Figura 3.1: Curva de fluxo do PP.....	34
Figura 3.2: Curvas de fluxo do GFPP	35
Figura 3.3: Curvas de fluxo do PS	36
Figura 3.4: Módulos G' e G'' do PP	37
Figura 3.5: Módulos G' e G'' do GFPP	37
Figura 3.6: Módulos G' e G'' do PS	38
Figura 3.7: Posicionamento da alheta relativamente aos sensores: alheta a 28mm da saída a); alheta a 12mm da saída b); alheta a 2.8mm da saída c)	40
Figura 3.8: Variação da pressão (em MPa) para as diferentes posições da alheta para o PP a 230 °C.....	40
Figura 3.9: Variação da pressão (em MPa) para as diferentes posições da alheta para o GFPP a 230 °C.....	40
Figura 3.10: Variação da pressão (em MPa) para as diferentes posições da alheta para o PS a 230 °C.....	41
Figura 3.11: Etapas finais da linha de extrusão do PP: imersão em água a); linha de extrusão completa b).....	42
Figura 3.12: Aspeto transversal das fitas de PP com diferentes condições a) sem alheta; b) $L= 28\text{mm}$ c) $L= 12\text{mm}$ d) $L= 2.9\text{mm}$	43
Figura 3.13: Etapas finais da linha de extrusão do GFPP: etapa completa a) 2ª serie de rolos de puxo b)	44
Figura 3.14: Aspeto transversal das fitas de GFPP com diferentes condições de processamento: a) sem alheta; b) $L= 28\text{mm}$ c) $L= 12\text{mm}$ d) $L= 2.9\text{mm}$	45
Figura 3.15: Etapas finais da linha de extrusão do PS: contacto da fita com a 1ª serie de rolos a) 2ª serie de rolos de puxo b)	46

Figura 3.16: Aspeto transversal das fitas de PS com diferentes condições a) sem alheta; b) L= 28mm c) L= 12mm d) L= 2.9mm.....	47
Figura 3.17: Influência da temperatura na deformação à rotura do PP	48
Figura 3.18: Influência da temperatura na tensão de rotura do PP	49
Figura 3.19: Influência da posição da alheta na tensão de cedência do PP.....	49
Figura 3.20: Influência da posição da alheta na deformação à cedência do PP.....	50
Figura 3.21: Aspeto típico final dos provetes de PP de pois de tracionados: a) L=2.mm; b) L= 12mm; c) L= 28mm; d) Sem alheta.....	51
Figura 3.22: Influência da posição da alheta na Tensão de cedência do GFPP	52
Figura 3.23: Influência da posição da alheta na deformação à cedência do GFPP.....	52
Figura 3.24 Aspeto final dos provetes de GFPP de pois de tracionados: a) L=2.mm; b) L= 12mm; c) L= 28mm; d) Sem alheta	53
Figura 3.25: Influência da posição da alheta na Tensão de cedência do PS	54
Figura 3.26: Influência da posição da alheta na deformação à cedência do PS.....	54
Figura 3.27: Aspeto final dos provetes de PS de pois de tracionados: a) L=2.mm; b) L= 12mm; c) L= 28mm; d) Sem alheta.....	55
Figura 5.1: Prensa George & Moore Hidraulic Press SER nºH558/X utilizada para a preparação dos discos	66
Figura 5.2: Localização do local das medições efetuadas nos provetes.....	67

Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Características dos materiais utilizados.....	13
Tabela 3.1: Influência da temperatura (em C°) na evolução da pressão (em MPa) ao longo da cabeça de extrusão, durante a extrusão de fita de PP, sem alheta.	39
Tabela 3.2: Influência da temperatura (em C°) na evolução da pressão (em MPa) ao longo da cabeça de extrusão, durante a extrusão de fita de PP com alheta a 2.9 mm da saída.	39
Tabela 3.3: Dimensões das diversas fitas de PP.....	42
Tabela 3.4: Dimensões das diversas fitas de GFPP.....	44
Tabela 3.5: Dimensões das diversas fitas de PS.....	46
Tabela 3.6: Influência do polimento das amostras na deformação de rotura do PP.....	48

Lista de abreviaturas e símbolos

3D—Três dimensões

A— Área

AO— Angulo do obstáculo

F— Força

G*— módulo de corte complexo

G'— módulo de armazenamento

G''— módulo de perda

GFPP— Polipropileno reforçado com fibras de vidro

H— Distancia entre pratos (gap)

L—Distância até à saída da fieira

PP— Polipropileno

PS—Poliestireno

R— Raio do prato

η — Viscosidade

ω — Velocidade angular

Capítulo 1-Introdução

1.1 Processamento de polímeros termoplásticos

Os polímeros termoplásticos, um dos grandes grupos dos polímeros sintéticos, podem ser classificados com base no seu grau de cristalinidade ou na sua morfologia.

Os termoplásticos são macromoléculas com estrutura linear ou ligeiramente ramificada, onde a coesão intermolecular é conferida por ligações químicas fracas. Estas características permitem que os termoplásticos possam ser moldados várias vezes, tendo a capacidade de suportar vários ciclos térmicos, podendo repetir os processos de fusão e subsequente solidificação sem perda significativa das suas propriedades.

Devido à enorme variedade de termoplásticos existentes, estes podem ser usados em diversas tecnologias de processamento, tais como moldação por injeção, extrusão, moldação-sopro, termoformação e moldação rotacional, entre outras.

A moldação por injeção é um dos processos mais utilizados na produção de produtos, ou componentes, em polímeros termoplásticos. Este método permite a obtenção de uma enorme gama de produtos, tais como brinquedos, componentes para as indústrias automóvel, elétrica e eletrónica, entre outros. A moldação por injeção consiste em forçar o polímero fundido, através da deslocação axial de um êmbolo, ou de um parafuso, para o interior da cavidade de um molde que possui uma geometria semelhante à da peça que se pretende produzir. No interior desta cavidade o material é então pressurizado e, simultaneamente, arrefecido, para que adquiria a desejada resistência mecânica. O processo termina com a extração da peça. Esta técnica é um processo cíclico, composto por várias etapas que se repetem em sequência, permitindo a produção de uma ou mais peças num mesmo ciclo[1].

A extrusão, outro método de processamento de termoplásticos, permite produzir produtos de seção transversal constante, tais como tubos, perfis, folhas, filmes e filamentos. Uma linha de extrusão é composta por três tipos de componentes principais: extrusora(s), cabeça de extrusão e equipamento acessório [2]. A extrusora é responsável pela fusão, homogeneização e pressurização do material. A cabeça de extrusão converte, de forma gradual, o fluxo circular, à saída da extrusora, num escoamento com secção transversal semelhante à do perfil a produzir, à saída da cabeça de extrusão [3]. Por fim, o equipamento acessório é utilizado com diferentes funcionalidades, tais como calibração/arrefecimento, puxo, tratamento superficial, enrolamento, corte.

A calibração/arrefecimento, um dos estágios mais importantes da extrusão, permite arrefecer e assegurar as tolerâncias dimensionais especificadas para o perfil extrudido, difíceis de obter à saída do canal de fluxo devido à natureza viscoelástica dos polímeros fundidos [4].

O tempo de residência no sistema de calibração/arrefecimento garante a estabilidade dimensional, e resistência mecânica suficiente para a manipulação posterior. O arrefecimento é influenciado por condições operatórias como temperatura e débito de extrusão, que determinam o tempo de arrefecimento necessário [5]. De referir que o arrefecimento deve ser rápido, para assegurar uma elevada produtividade [6].

1.2 Linhas de soldadura

As linhas de soldadura designam o local/região da peça que se forma pela junção de duas ou mais frentes de fluxo com origem diversa, formando uma só frente de fluxo [3].

Geralmente, as zonas onde existem linhas de soldadura têm menor resistência mecânica, sendo associadas a zonas de maior fragilidade do produto. Este resultado é uma consequência da menor interação molecular existente entre as frentes de fluxo que se unem, quando comparada com a das restantes zonas.

1.2.1 Linhas de soldadura em moldação por injeção

Na moldação por injeção, existem diversos processos que podem originar a formação de linhas de soldadura, nomeadamente diferenças de espessura na peça, necessidade de contornar obstáculos ou, talvez o mais comum, injeção do material em pontos distintos do molde. A título de exemplo podem referir-se os para-choques de automóveis, que devido às suas elevadas dimensões, obrigam à utilização de diferentes pontos de injeção, com conseqüente formação da linha de soldadura [7] (Figura 1.1).



Figura 1.1: Esquemática da formação das linhas de soldadura durante o encontro das frentes de fluxo (Adaptado de [8]).

As linhas de soldadura são normalmente visíveis (ver Figura 1.2) tornando o impacto visual um dos seus aspetos negativos, principalmente em produtos transparentes. Além do impacto visual, as linhas de soldadura têm consequências a nível das propriedades mecânicas, do próprio produto. Assim, estas são normalmente responsáveis pela redução da resistência mecânica do produto [8].



Figura 1.2: Exemplo do efeito estético provocado por uma linha de soldadura.

Com o intuito de minimizar as consequências negativas das linhas de soldadura, são, por vezes, feitas várias tentativas de melhorar o projeto do molde, de modo a obter condições mais favoráveis para uma soldadura de qualidade superior ou deslocar a linha de soldadura para zonas pouco críticas para o desempenho do produto final [9][10].

Num estudo relativo às linhas de soldadura, [10] foram analisados os efeitos dos parâmetros de injeção e das linhas de soldadura sobre as propriedades mecânicas em amostras de PP, com obstáculos colocados no centro do molde possuindo ângulos (AO) de 0°, 15° e 45°. Este estudo permitiu concluir que:

- os provetes com linhas de soldadura, vêm reduzida a interação molecular e, como tal, a sua resistência à tração. Esta pode ter uma redução, quando comparada com a dos provetes sem linha de soldadura, compreendida entre 3.5% e 9%;

- quanto ao efeito da temperatura de injeção, como se pode constatar na Figura 1.3 o seu aumento promove um aumento da resistência à tração, em ambas situações (com e sem linha de soldadura) [10];

- A pressão posterior (ou segunda pressão) afeta a resistência à tração. Na Figura 1.4 é possível verificar que com o aumento da pressão posterior existe um acréscimo da resistência à tração, e que os provetes com linhas de soldadura são mais frágeis que provetes sem linha de soldadura;

- a resistência à tração dos provetes com o AO de maior valor (45°) teve um efeito superior nas propriedades mecânicas, nos valores da pressão posterior e da temperatura de injeção.

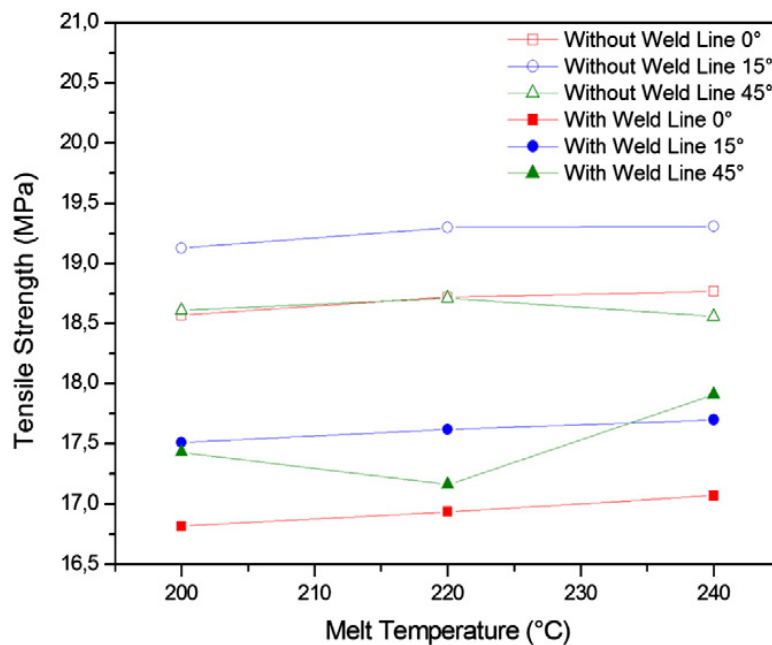


Figura 1.3: Resistência à tração dos provetes com e sem linhas de soldadura para diferentes valores de AO e temperatura de injeção (adaptado de [11]).

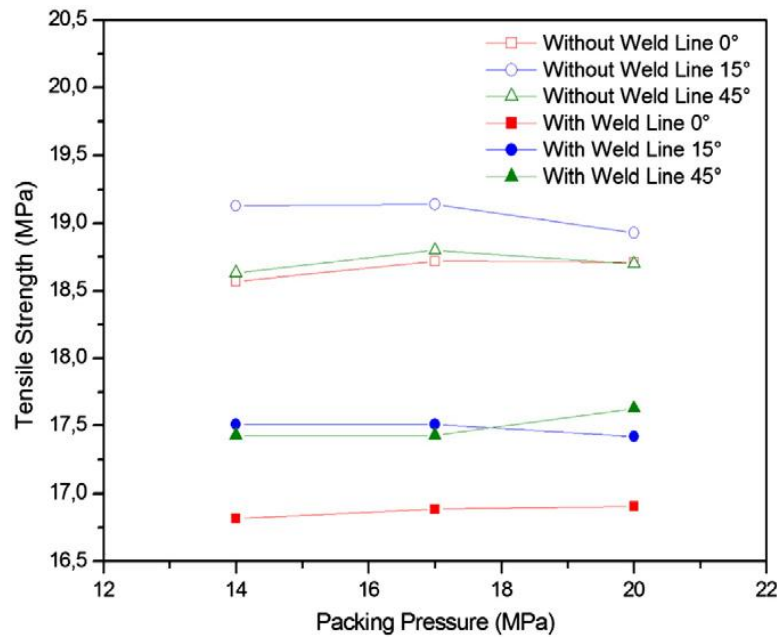


Figura 1.4: Resistência à tração de provetes com e sem linhas de soldadura: efeito do AO e da pressão posterior (adaptado de [11]).

1.2.2 Linhas de soldadura em extrusão

Na literatura não existem estudos publicados sobre o efeito das linhas de soldadura em extrusão de perfis termoplásticos. Assim, a primeira parte desta secção descreve sucintamente a informação disponível sobre linhas de soldadura em extrusão de metais.

A extrusão de metais é um processo de extrusão termomecânica, pois à semelhança do que acontece nos polímeros, existe a necessidade de aquecer os blocos de metal a processar, o que implica a utilização de pressões e temperaturas elevadas. Os requisitos em termos de pressão implicam a utilização de pistões hidráulicos [11]. Este método permite, por exemplo, no caso de tubos em alumínio, que possuem elevada resistência, uma relativa facilidade de extrudir [13].

Na extrusão de polímeros, e à semelhança do que acontece na moldação por injeção, existem diferentes situações que podem originar a formação de linhas de soldadura. No caso de perfis ocos (que implicam a utilização de torpedos ou mandris), as linhas de soldadura surgem porque existe a necessidade de fixar o torpedo/mandril ao corpo principal da cabeça de extrusão, sendo a fixação feita por pernas de aranha. O

fluxo de material é, deste modo, forçado a passar pela área livre envolvente, voltando a unir-se num único fluxo principal, originando assim linhas de soldadura[13]. A união das frentes de fluxo do material pode levar, em diversas situações, à ocorrência de defeitos nessa zona (Figura 1.5). A localização axial das pernas de aranha é um dos aspetos a ter em consideração no projeto de cabeças de extrusão, pois influencia a qualidade das linhas de soldadura [14]. Os tubos são um dos produtos onde podem, normalmente, ser encontradas linhas de soldadura com origem em alhetas. Este tipo de produtos, são frequentemente utilizados nas redes de saneamento, ou no transporte de gás, estando, na sua maioria dos casos, soterrados e sujeitos a grandes pressões. Assim, é necessário que o efeito das linhas de soldadura seja minimizado, pois a sua rotura implica uma substituição, que pode ser onerosa [15].

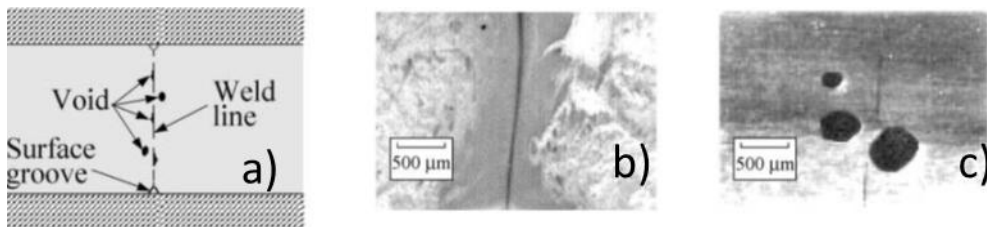


Figura 1.5: Defeitos originados em produtos com linhas de soldadura (a) ilustração esquemática; (b) linha de soldadura à superfície; (c) vazios formados na secção transversal [7].

No caso da extrusão de perfis termoplásticos, a origem da formação de linhas de soldadura está relacionado com a existência de separadores de fluxo utilizados cabeça de extrusão. Estes são colocados na zona paralela (terminal) da cabeça de extrusão, para controlar a distribuição do fluxo e permitir equilibrar o escoamento [3]. Os separadores de fluxo são habitualmente utilizados na produção de perfis para caixilharia de janelas, uma vez que a secção transversal destes possui zonas de espessuras muito distintas [3].

A colocação de obstáculos ao fluxo (nomeadamente as alhetas ou os separadores de fluxo) deve, por norma, ser feita num local onde ocorrem pressões elevadas, e, preferencialmente, numa posição inicial da cabeça de extrusão, com o intuito de reduzir o efeito nocivo das linhas de soldadura formadas. Porém, no caso dos separadores, a necessidade de garantir a correta distribuição do fluxo, implica que estes sejam

prolongados até próximo da saída da cabeça de extrusão, pelo que a linha de soldadura é formada a baixas pressões.

Devido à existência de pouca informação relativa ao efeito dos separadores de fluxo e consequentes linhas de soldadura em extrusão de perfis, é pertinente a realização de um estudo sobre este tema.

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo a realização de um estudo sistemático sobre o efeito das linhas de soldadura em extrusão de perfis, promovidas pela existência de alhetas. A pouca informação disponível relacionada com as linhas de soldadura em extrusão de perfis, e a não existência de estudos relacionados com a influência destas na resistência mecânica dos perfis, realça a pertinência do tema de estudo proposto para este trabalho.

Para melhor compreensão do efeito das linhas de soldadura o estudo deverá incidir nos seguintes parâmetros do processo:

- localização axial da formação da linha de soldadura;
- morfologia do polímero, através da utilização de diferentes materiais (PS, PP e GFPP);
- temperatura de processamento.

No final do trabalho, pretende-se relacionar as propriedades das linhas de soldadura, estudadas através de ensaios mecânicos e óticos, com aqueles parâmetros.

1.4 Organização da dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo é feita uma introdução ao tema, justificando a sua relevância e apresentando os seus objetivos.

No segundo capítulo são descritos os materiais utilizados no decorrer da fase experimental, bem como os diferentes métodos utilizados na caracterização reológica dos materiais, na extrusão e caracterização dos perfis.

No terceiro capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos.

Na conclusão, o quarto capítulo desta dissertação, serão apresentadas as conclusões resultantes do trabalho realizado.

Por fim, no último capítulo, são feitas sugestões para trabalhos futuros, indicando diversas alternativas para dar continuidade a este estudo.

Capítulo 2-Materiais e Métodos

O presente capítulo está subdividido em quatro secções principais. Na primeira (2.1) são apresentados os materiais utilizados no decorrer da dissertação.

A segunda (2.2) secção descreve os procedimentos experimentais utilizados na caracterização reológica.

Na secção seguinte (2.3) são descritos os procedimentos experimentais utilizados para no estudo do efeito da linha de soldadura em perfis.

A quarta e última secção (2.4) apresenta a metodologia empregue na caracterização mecânica dos diferentes provetes obtidos por extrusão.

2.1 Materiais

Os três materiais seleccionados para o estudo, que possuem diferentes características e morfologias, foram os seguintes:

- *Polipropileno* (MOSTEN GB 503), PP
- *Polipropileno Reforçado com fibras de Vidro* (POLIFOR L6 GF/30 NATURALE), GFPP
- *Poliestireno* (Polystyrol 158 K), PS

Os três materiais foram escolhidos por serem representativos dos habitualmente empregues em extrusão e de forma a poder avaliar o efeito da incorporação de fibras de reforço (por comparação entre o PP com e sem fibras de vidro) e o efeito da morfologia do material (por comparação de um polímero amorfo, PS, e um semi-cristalino, PP).

A Tabela 2.1 apresenta algumas das características genéricas dos polímeros utilizados, bem como exemplos de aplicações típicas.

Tabela 2.1: Características dos materiais utilizados

<i>Características</i>		
PP	GFPP	PS
<ul style="list-style-type: none"> • Semi-cristalino; • Rígido à temperatura ambiente; • Boas propriedades elétricas; 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Maior rigidez comparativamente ao PP; ○ Maior resistência ao impacto; 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Amorfo; ❖ Rígido; ❖ Transparente; ❖ Boas propriedades elétricas
<i>Aplicações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> • Tubos; • Filmes 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Perfis 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Perfis ❖ Tubos ❖ Filme
<i>Temperatura de processamento</i>		
<ul style="list-style-type: none"> • 210-240 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 200-250 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 200-240°C
<i>Técnicas de processamento</i>		
<ul style="list-style-type: none"> • Injeção • Extrusão 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Injeção ○ Extrusão 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Injeção ❖ Extrusão

2.2 Caracterização reológica dos materiais

O conhecimento do comportamento viscoelástico dos polímeros revela grande importância durante o seu processamento, pois são essas propriedades que determinam os fenómenos que ocorrem. O comportamento viscoelástico, resulta da combinação de dois casos extremos: o *comportamento puramente viscoso* e o *comportamento puramente elástico*.

O comportamento puramente viscoso é verificado quando o material é sujeito a um estímulo mecânico e se deforma continuamente; quando o estímulo é retirado o material não volta à forma original. Por comportamento puramente elástico entende-se o dos materiais que quando sujeitos a um estímulo mecânico, deformam instantaneamente; quando o estímulo é removido estes materiais retornam a forma original.

Estamos perante um material com comportamento viscoelástico, quando este apresenta características viscosas e elásticas. As componentes viscosa e elástica de um material podem ser caracterizadas pelo módulo de corte complexo G^* que é composto pelo módulo de armazenamento, G' , que está associado à componente de elástica do comportamento, e pelo módulo de perda, G'' , que e está associado à contribuição viscosa ou dissipação de energia [16][17].

O estudo do comportamento reológico dos materiais revela-se extremamente vantajoso quando associado às ferramentas de simulação de processamento, pois através deste método podem prever-se comportamentos que o material adquire, aquando o seu processamento. Desta forma é possível, através da modelação, prever o débito, ou até mesmo o tempo de residência no interior da fieira, alterando variáveis do processo tais como a temperatura de processamento.

Desta forma, os ensaios de reometria oscilatória permitem a caracterização das propriedades viscoelásticas dos polímeros fundidos, e assim obter dados relevantes em condições representativas das de processamento. Por exemplo, é possível caraterizar o comportamento do material numa gama alargada das taxas de corte, geralmente baixas. Este método é complementado pelos ensaios de reometria capilar, os quais permitem obter informação a taxas de corte mais elevadas, da ordem de grandeza das máximas que ocorrem em condições de processamento.

Para a realização dos ensaios em corte é necessário ligar o sistema de arrefecimento, que permite o controlo da temperatura, e o ar comprimido. Posteriormente o reómetro é ligado, e inicializa-se o respetivo software. Em seguida coloca-se o equipamento à temperatura desejada, quando este atingir a temperatura do respetivo ensaio, procede-se a calibração do hiato (distância entre os pratos), para que o reómetro identifique a posição de referência, e a calibração do sistema de medição, que é efetuada no reómetro sem o sistema de medição e posteriormente com esse sistema montado.

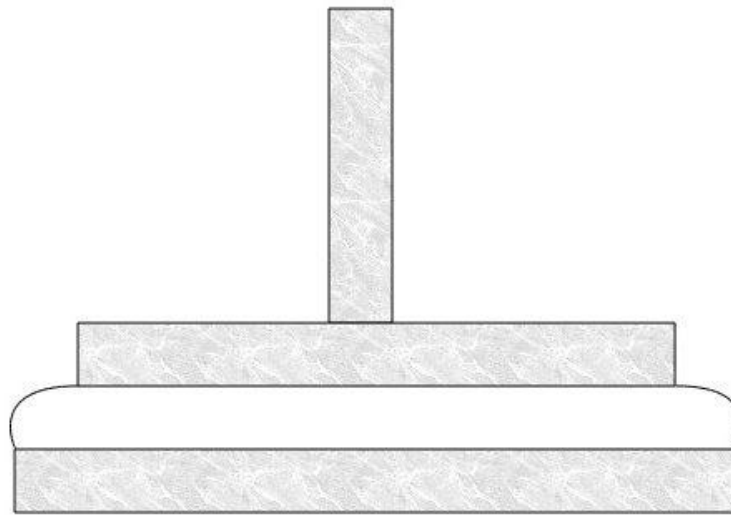


Figura 2.1: Esquematização do sistema de pratos paralelos onde é colocada a amostra.

2.2.1 Reometria de pratos paralelos

Através da utilização da reometria de pratos paralelos é possível efetuar ensaios quer em escoamento de corte, que fornecem informação complementar para a curva de fluxo de cada material, como também em regime oscilatório, para obter informações sobre as propriedades viscoelásticas dos materiais a caracterizar.

Como o próprio nome indica, o reómetro de pratos paralelos é composto por dois pratos dispostos paralelamente, sendo o prato inferior fixo e o superior móvel. O reómetro é composto também por um forno, que permite controlar a temperatura a que se realiza o

ensaio. O equipamento dispõe ainda de um sistema de ar comprimido e de um sistema de arrefecimento. O equipamento usado Paar Physica MCR300 está ilustrado na Figura 2.2.

O recurso à reometria de pratos paralelos requer inicialmente, a produção de provetes, em forma de pequenos discos (espessura 1mm e diâmetro 25 mm), do material a estudar. Estes são produzidos numa prensa (prensa George & Moore Hidraulic Press SER n°H558/X) usando molde preparados para o efeito. O procedimento completo da produção de discos está descrito no Anexo 4.

A amostra é então colocada sobre o prato inferior, como é representado na Figura 2.1, que se encontra fixo, é feita uma aproximação do prato superior, e após a remoção dos excedentes do disco, o prato superior é então colocado à distância definida para o ensaio. Terminadas estas etapas é iniciado o ensaio. Este procedimento repete-se para os ensaios em corte e para a reometria de pratos paralelos em regime oscilatório. Cada polímero foi testado em três temperaturas diferentes 210°C, 230°C e 250°C.

Estes provetes são utilizados nos ensaios em regime oscilatório e nos ensaios em corte, após a calibração do equipamento (Figura 2.2), e da definição das condições de ensaio [18].



Figura 2.2: Reómetro utilizados nos ensaios em corte e em regime oscilatório

Para os ensaios em regime oscilatório, com varrimento em frequência, um dos pratos encontra-se fixo (prato inferior) e o outro movimenta-se de forma oscilatória (prato superior).

Os pratos possuem um diâmetro de 25mm e a distância entre pratos foi definida nos 0.8 mm, que é ligeiramente inferior à espessura dos provetes produzidos.

No software são colocadas as diretivas, que permitem a realização de todos os ensaios sob as mesmas condições, deste modo, foram definidas para a realização dos ensaios, varrimentos de frequência de 100 Hz para 0,01 Hz, ou seja os ensaios têm início a valores de frequência mais elevados, diminuindo de forma gradual, a execução dos ensaios com frequências decrescentes, tem como intenção a de evitar a degradação das amostras, pois o tempo de medição aumenta à medida que a frequência reduz. Os ensaios são realizados a uma gama alargada de valores de frequência, com o objetivo de verificar se possível, a intersecção dos módulos G' e G'' , para cada condição experimental foram realizados dois ensaios.

O ensaio de reometria de pratos paralelos em regime oscilatório permite obter a relação entre a tensão de corte e a deformação (modulo complexo de corte G^*)

O módulo de corte complexo G^* é composto pelo módulo de armazenamento G' , que está associado à componente em fase com a deformação, ou seja está associado à contribuição elástica, e pelo módulo de perda G'' , que está associado à contribuição viscosa ou dissipação de energia [16], [17]. A relação entre estes parâmetros é a seguinte:

$$G^* = G'(t) + G''(t)$$

A Figura 2.3 ilustra o comportamento típico de um polímero viscoelástico, obtido num ensaio de reometria oscilatória.

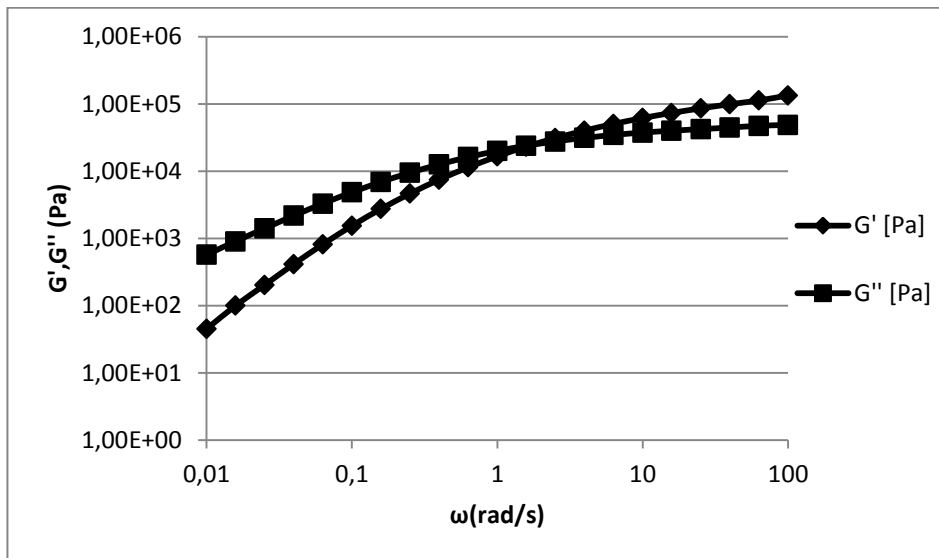


Figura 2.3: Comportamento típico, em termos de G' e G'' , de um polímero viscoelástico.

Para baixas frequências, temos G' (módulo elástico) menor que G'' (módulo viscoso), sendo este o comportamento típico de um líquido; a valores de frequências mais elevadas verifica-se o contrário, que é o comportamento típico de um material sólido. A intersecção das curvas representa a passagem do comportamento predominantemente viscoso para predominantemente elástico.

2.2.1.2 Ensaios em regime estacionário

Os ensaios em corte realizados num reómetro de pratos paralelos são efetuados com o intuito de obter informações sobre a forma como a viscosidade de corte é afetada pela taxa de corte, numa gama baixa de taxas de corte (inferiores a $10s^{-1}$). Estes resultados vão complementar a informação obtida nos ensaios de reometria capilar, que será apresentado na Seção 2.3. O reómetro utilizado nesta caracterização em escoamentos de corte foi novamente o Paar Physica MCR300. Depois de calibrado o zero do hiato e da colocação da amostra no prato inferior, o ensaio é iniciado.

Em termos genéricos, o cálculo das taxas de corte utiliza os seguintes dados: o raio R dos pratos posicionados paralelamente, que se encontram a uma distância h , e a velocidade de

rotação do prato superior. A tensão de corte é obtida através do binário exercido (T) para obter a velocidade de rotação imposta [19],[20].

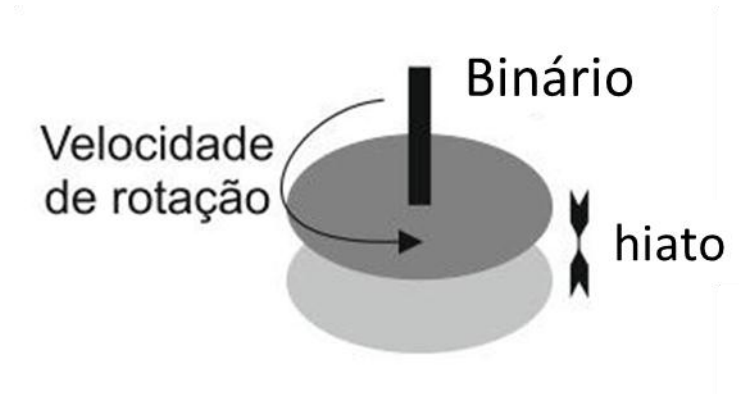


Figura 2.4: Esquematização do ensaio de reometria de pratos paralelos em regime de corte.

A fórmula utilizada para o cálculo da viscosidade tem em consideração, a geometria empregue, considerando que a taxa de corte é nula no centro do prato, e possui um valor máximo na sua extremidade.

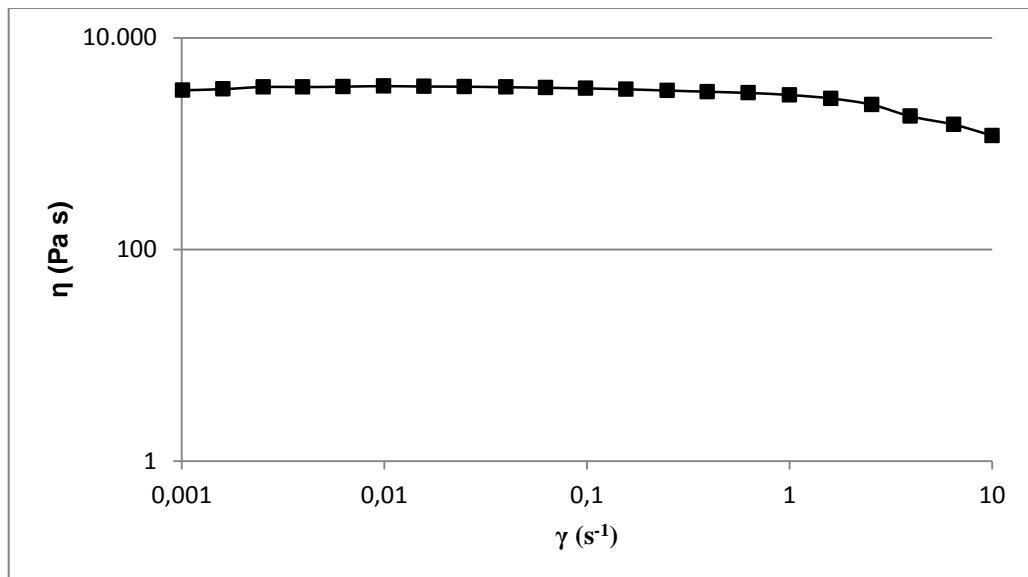


Figura 2.5: Exemplos de curva de fluxo obtida por reometria de pratos paralelos em ensaios de corte.

2.2.2 Reometria capilar

A informação obtida através da reometria capilar complementa a resultante da reometria de pratos paralelos, pois permite a obtenção de valores de viscosidade de corte para taxas de corte mais elevadas (superiores a 10s^{-1}).

O reómetro capilar utilizado é composto por: **(i)** dois pistões, que impõem uma velocidade linear de deslocamento pré-estabelecida, comprimindo o material e forçando a sua passagem através da fieira; dois reservatórios onde se insere o polímero em estudo; **(ii)** as fieiras, orifício pelo qual o material fundido é expulso do reservatório; **(iii)** um sistema de aquecimento elétrico, para controlar a temperatura do polímero no reservatório; **(iv)** e finalmente, transdutores de pressão, que permitem medir a pressão nos reservatórios, acima da entrada das fieiras. Na Figura 2.6 é possível verificar a esquematização do funcionamento de um reómetro capilar só com uma fieira.

Todos os ensaios de reometria capilar realizados no reómetro Rosand RH10 (Bohlin Instruments), ilustrado na Figura 2.7, foram efetuados às mesmas temperaturas que os ensaios de reometria de pratos paralelos.

De modo a obter a tensão de corte real, é necessário recorrer à **correção de Bagley** esta é realizada para obter o valor da queda de pressão nas fieiras, isto porque os transdutores de pressão não se encontram exatamente na entrada da fieira.

Para efetuar a correção do valor da pressão, o *software* do equipamento recorre à correção de Bagley. Esta correção é elaborada utilizando duas razões L/R das fieiras (o raio (R) mantém-se constante e o comprimento da fieira (L) é variável). Onde P_0 corresponde ao valor da pressão na fieira, ou pressão corrigida, isto é, o valor da pressão que deverá ser utilizado nos cálculos.

Após a obtenção da pressão corrigida, conseguimos a tensão de corte verdadeira, que é dada por:

$$\tau_{\text{verdadeira}} = \frac{P_0 R}{2L}$$

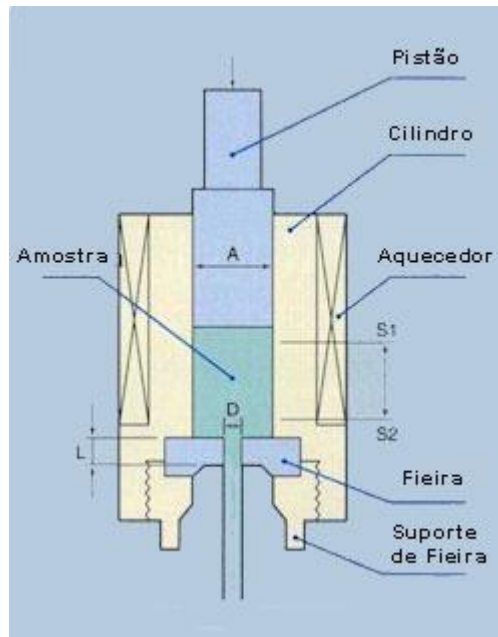


Figura 2.6: Diagrama esquemático do reómetro capilar.

Todos os ensaios seguiram o mesmo procedimento, consistindo a etapa inicial na seleção das fieiras, curta e comprida, que permitem a fixação nos reservatórios. Na fase seguinte, o material é colocado nos reservatórios, encontrando-se estes à temperatura à qual o ensaio é realizado; após estas etapas o material é sujeito a duas etapas de compressão, para eliminar o ar existente entre os grânulos de polímero. Após a compactação, o material, é forçado a passar do reservatório para o capilar existindo uma queda de pressão, sendo esse valor registado, pelo software do reómetro capilar. Estes valores permitem, então, conhecer os diferentes valores da viscosidade, associados às diversas curvas formadas.

As fieiras foram escolhidas com base nas propriedades dos materiais em estudo, possuíam 1mm de diâmetro e comprimentos de 8mm (fieira curta) e 16mm (fieira comprida). Para a realização de todos os ensaios, foram definidas curvas com dez pontos, foram introduzidas também no software diretivas de forma a obter curvas com taxas de corte entre 10 s^{-1} e 10000 s^{-1} .



Figura 2.7: Reómetro capilar utilizado

2.2.3 Obtenção de Modelos Reológicos

Para o ajuste de modelos reológicos, das curvas de fluxo obtidas, é necessária a utilização de um modelo, que efetuar a combinação dos resultados obtidos, nos diferentes ensaios de reometria, o modelo escolhido foi o modelo de Carreau – Yasuda, os ajustes foram efetuados através da seguinte equação:

$$\eta = \eta_0 [1 + (\lambda \dot{\gamma})^2]^{\frac{n-1}{2}}$$

Onde:

η_0 – Viscosidade limite, à taxa de corte zero

λ – Tempo característico

$\dot{\gamma}$ – Taxa de corte

n – Coeficiente da lei de potência.

A equação de Carreau – Yasuda permite o ajuste às curvas de fluxo obtidas. A utilização deste modelo é necessária, para efetuar a combinação dos resultados obtidos a diferentes temperaturas de processamento, desta forma, será possível obter um modelo que representa a variação da viscosidade com a taxa de deformação. Os pontos, das curvas de viscosidade obtidas através dos reómetros de pratos paralelos e capilar, são modelados, e com a aplicação da fórmula de Carreau-Yasuda é possível obter para cada temperatura de processamento, uma só curva representativa do comportamento que a viscosidade adquire a uma gama alargada de valores da taxa de corte Figura 2.8. Estes modelos podem ser usados em softwares de modelação numérica para prever o comportamento dos materiais caracterizados.

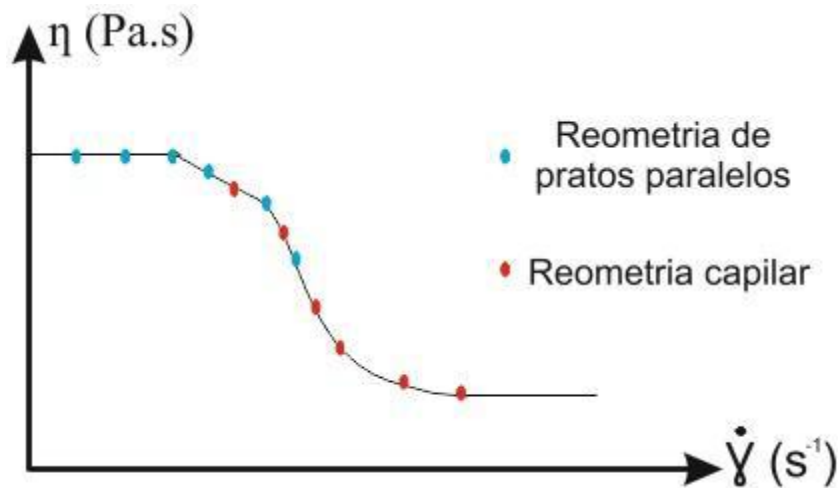


Figura 2.8: Comportamento típico de intersecção das curvas obtidas através do reómetro capilar e reómetro de pratos paralelos

No presente trabalho dedicou-se uma grande parte do estudo, à compreensão do comportamento reológico dos diferentes materiais, pretendia-se utilizar os resultados deste estudo para proceder à simulação numérica, e deste modo perceber o comportamento dos materiais no interior da fieira. Porém, devido a restrições de índole temporal, não foi possível realizar o estudo do comportamento dos materiais no interior da fieira, recorrendo à simulação numérica.

2.3 Sistema de extrusão

Na Figura 2.9 é representada uma esquematização geral do funcionamento de uma extrusora monofuso.

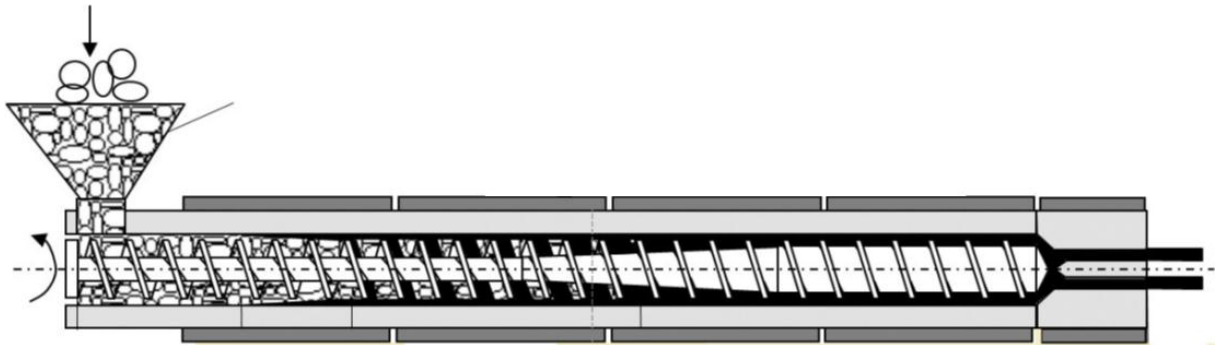


Figura 2.9: Configuração geral de uma extrusora monofuso.[21]

A extrusora tem como principal função fornecer à cabeça de extrusão material fundido a uma temperatura e composição uniforme e com um débito constante. Adicionalmente, esta, deve ser capaz de gerar a pressão necessária para vencer a resistência ao fluxo provocada pela cabeça de extrusão. Para o efeito, a extrusora tem uma configuração geral como a ilustrada na Figura 2.9. A rotação do parafuso obriga o material, que entra pela tremonha, a avançar em direção à extremidade oposta onde está a cabeça de extrusão. Durante o avanço, e devido ao aquecimento causado pelas bandas de aquecimento, reguladas para temperaturas crescentes, e pelo atrito interno do material, este vai fundindo gradual e continuamente

2.3.1 Cabeça de Extrusão

Para a realização deste trabalho foi concebida, previamente, uma cabeça de extrusão, que possui a particularidade de permitir, alterar o local da soldadura, através da alheta introduzida no interior da fieira. Para este efeito, a cabeça de extrusão possui uma geometria que possibilite ter no seu interior uma alheta na zona central da Zona Paralela (Figura 10) que obriga a uma separação do fluxo principal em duas frentes de fluxo. Esta alheta tem a possibilidade de ser movida, ou mesmo retirada, conforme o local onde se deseja que a linha de soldadura tenha início. Na Figura 10 e) está ilustrado o dispositivo usado no controlo do posicionamento da alheta no interior da fieira.

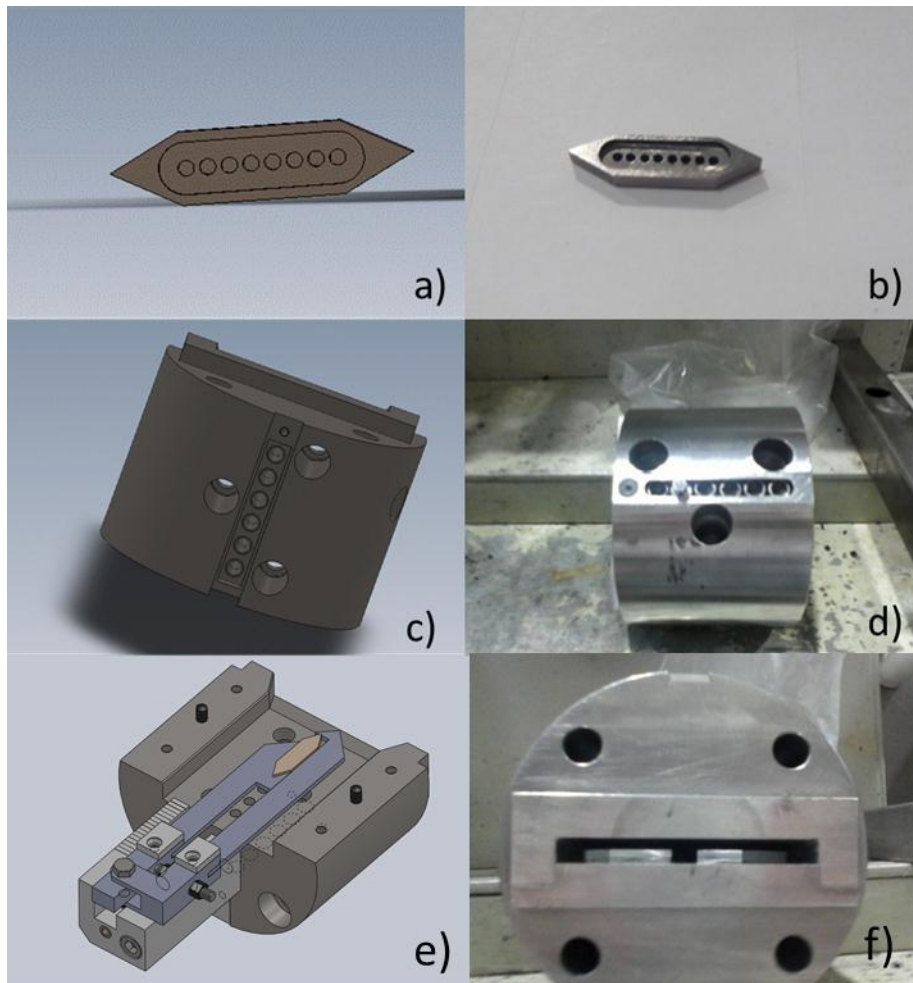


Figura 2.10: Geometrias da alheta em 3D (a) e real (b); parafusos de aperto 3D (c); efeito real (d); posicionamento da alheta no interior da fieira (e); alheta no interior da fieira (f)

A geometria da cabeça possui um sistema de seis parafusos, (Figura 2.10 c, d) que têm como função, regular a distância da alheta à saída da fieira. Os parafusos garantem ainda a fixação e orientação da alheta no interior da fieira, pois a série de seis parafusos dispõe de um parafuso modificado, que pode ser deslocado para qualquer uma das seis posições destinadas aos parafusos, este parafuso modificado contém no seu interior um pino, que fixa a alheta, definindo deste modo a distância da alheta à saída da fieira (local onde têm início as possíveis linhas de soldadura). Os restantes parafusos asseguram o alinhamento da alheta na direção axial.

Com a fixação da alheta através dos parafusos foram definidas três localizações axiais (pontos onde se inicia a linha de soldadura): a posição mais recuada, a uma distância de

28mm relativa à saída da fieira; uma posição intermedia, a uma distância de 12mm da saída; e a posição mais avançada, a uma distância 2.9mm da saída.

Para facilitar a utilização do sistema foi também projetada uma garra acessória, ver Figura 2.11, que permite regular o posicionamento axial da alheta no interior da fieira, sem ter de a desmontar e limpar. Esta garra possui ainda uma régua, que permite aferir a distância da alheta à saída da fieira, ou seja o local onde as duas frentes de fluxo se unem, formando uma linha de soldadura

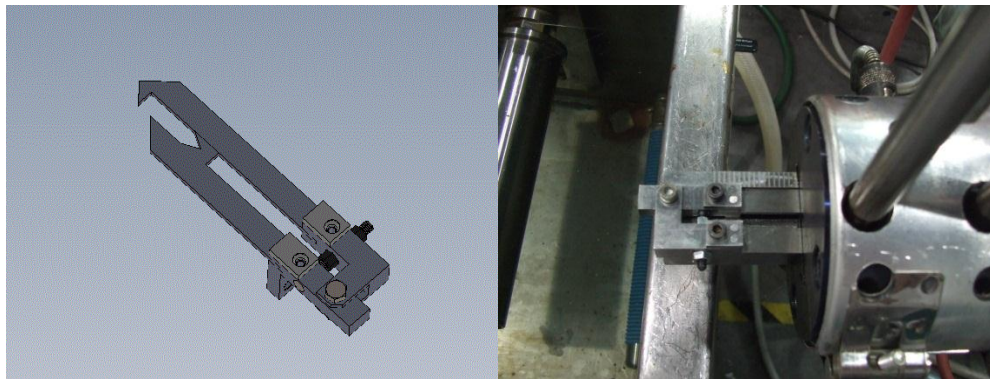


Figura 2.11: Imagem da garra a 3D e imagem real inserida na cabeça de extrusão.

Ao longo da fieira existem seis orifícios, que permitem a medição dos valores da pressão ao longo do percurso do fluxo, existindo a possibilidade de medição das pressões em paralelo, ou seja dos dois lados da alheta, ou a medição em série, que permitia a medição em três pontos distintos do percurso do fluxo no interior da fieira (Figura 2.12).

Estas medições (paralela e em série) não podem ser realizadas em simultâneo, por uma questão espacial, estando a dimensão dos transdutores associada a esse impedimento, sendo impossível colocar três transdutores de cada lado da fieira (superior e inferior).

Face à impossibilidade de utilizar os dois sistemas de medição da pressão, a medição em série dos valores da pressão, foi sistema modalidade escolhida para todas as experiências de extrusão. Neste caso, os sensores foram colocados a uma distância de 52.89 mm, 33.11 mm e 11.55 mm da saída da fieira.

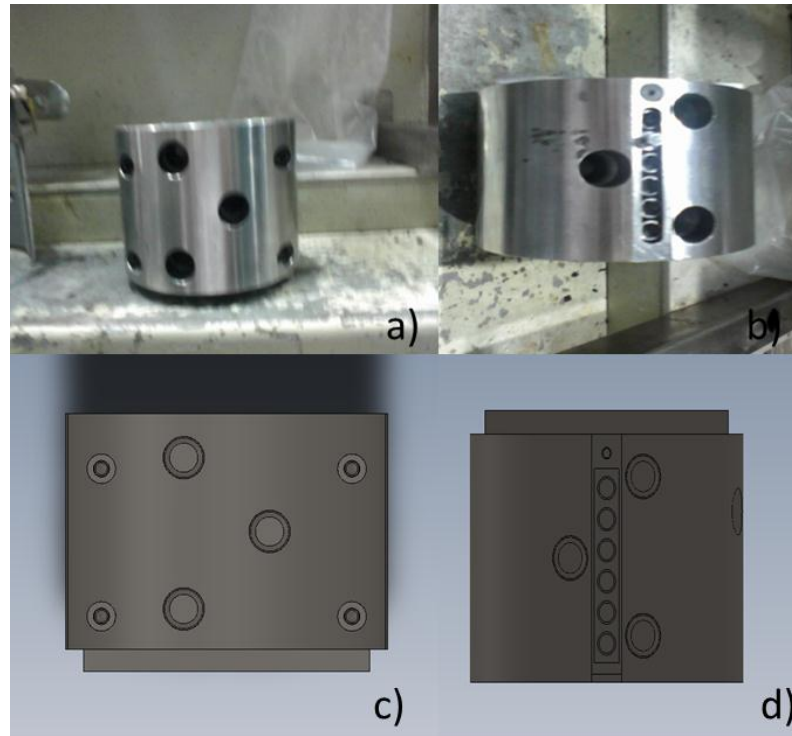


Figura 2.12: Furos para os transdutores de pressão na parte superior da feira (a) e na parte interior da mesma (b).

2.3.2 Equipamento acessório

O procedimento de extrusão da fita polimérica sofreu durante o processo alterações importantes. Inicialmente a calandra era o equipamento acessório usado na linha de extrusão, sujeitando a fita, logo à saída da feira, a uma compressão e ao puxo imediato.

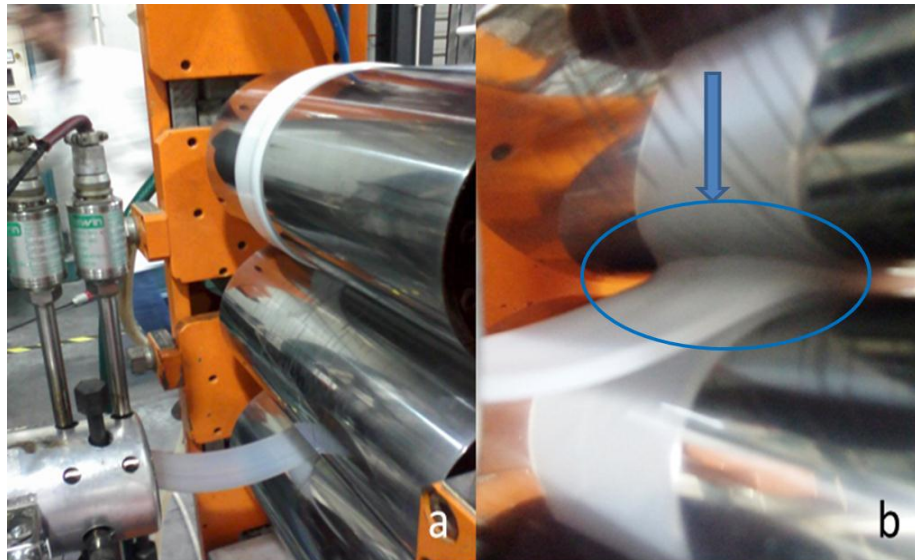


Figura 2.13: posicionamento da fieira relativamente à calandra a); efeito o estrangulamento da fita b).

Após a análise da fita à saída da fieira, verificou-se que o efeito da linha de soldadura era adulterado. Com o objetivo de solucionar este problema todo o processo foi observado, tendo-se concluído que este facto se devia a uma folga demasiado pequena entre rolos da calandra, a qual possui um valor máximo de 2.5mm, enquanto, que a espessura da fita à saída da fieira era de 3mm. Este facto leva a uma compressão da fita, ilustrado na Figura 2.13 b). Acresce ainda o facto de o polímero utilizado inicialmente sofrer inchamento à saída da fieira, o que agravava o problema.

De referir que o acabamento superficial da fita obtida, com recurso à calandra era excelente, conforme ilustrado na Figura 2.14.



Figura 2.14: Acabamento superficial da fita produzida com recurso à calandra.

Devido aos factos referidos anteriormente, houve necessidade de utilizar um equipamento acessório distinto. Optou-se, então, por um sistema de rolos de puxo em série, com estufas de aquecimento intercaladas entre rolos, que permitem orientar a fita para o interior das estufas. O novo sistema acessório, ilustrado na Figura 2.15, é acoplado à extrusora permite um controle superior das temperaturas a que as fitas são sujeitas depois de sair da fieira.

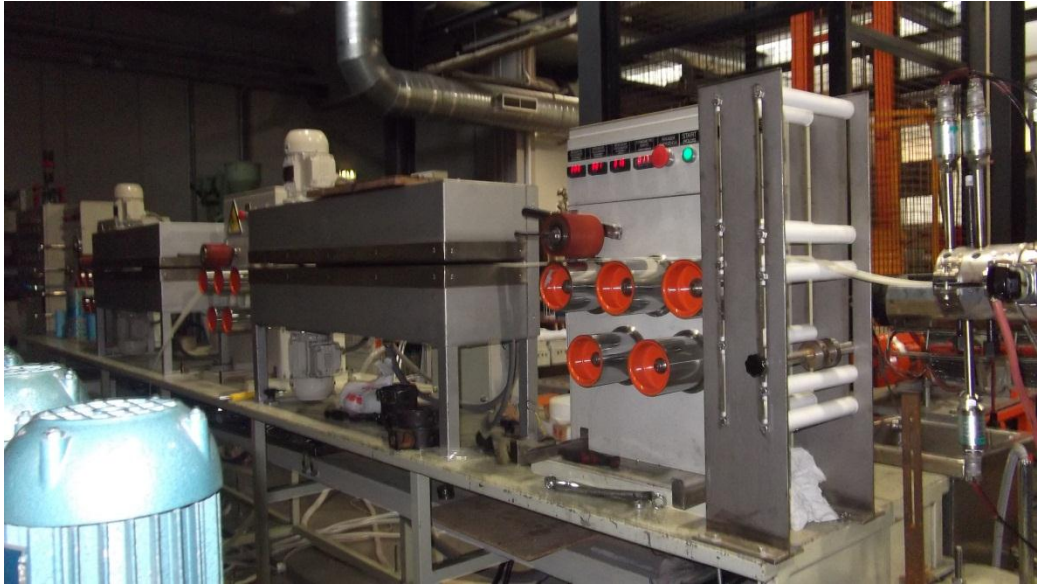


Figura 2.15: Esquema do funcionamento do equipamento acessório acoplado à extrusora

A necessidade de obter uma fita com as dimensões mínimas para a realização dos ensaios de tração, realizados na etapa seguinte, assim como um bom acabamento superficial, implicaram vários ajustes no equipamento acessório e nas condições de processamento usadas.

Na extrusão do PP, a estrutura base da linha, não sofreu alterações, uma vez que, a fita era imersa no sistema de arrefecimento colocado no início da linha, a água de arrefecimento estava a uma temperatura de 35 °C, sendo o controlo da temperatura era garantido por um termostato. Do mesmo modo, a velocidade dos rolos de puxo foi mantida constante em todas as condições de processamento.

Nos casos do GFPP e do PS o sistema de arrefecimento por imersão em água é removido, nos dois casos, as fitas poliméricas passam pela primeira serie de rolos, que serve

apenas orientar a fita para o interior da estufa, por fim após a passagem pela segunda serie de rolos as amostras são recolhidas.

2.4 Métodos - Caracterização do extrudido

Após a extrusão das fitas dos diferentes polímeros, é necessário o estudo do seu comportamento, com o propósito de compreender o efeito que as linhas de soldadura provocam no desempenho das fitas produzidas, foram realizados ensaios mecânicos, nomeadamente ensaios de tração.

Os ensaios de tração permitem obter informações, sobre a resistência das linhas de soldadura formadas na etapa anterior. Estes ensaios realizaram-se numa máquina universal de ensaios mecânicos ZWICK (Figura 2.16). Esta é composta duas amarras onde são colocados os provetes, a amarra inferior que se encontra fixa e a superior que se desloca de forma vertical. Acoplado à máquina de tração existe um *software* que regista todos os valores obtidos, e onde são colocados os dados relativos a cada provete.

Para a realização destes ensaios é necessária uma preparação prévia dos provetes, os quais devem sempre que possível possuir dimensões normalizadas. Porém, face à impossibilidade de obter provetes com dimensões normalizadas, devido à diminuta largura das fitas obtidas, existe a necessidade de adequar os provetes às especificidades das fitas obtidas anteriormente. Deste modo, a preparação dos provetes de PP e GFPP, foi efetuada através da serra de corte elétrica, foi possível, com este método de corte uniformizar as medidas de todos os provetes. No caso do PS, devido às suas características (material amorfo), não foi possível obter os provetes através do mesmo método de corte, uma vez que, os provetes partiam em diversos pontos, deste modo, a alternativa escolhida para a produção dos provetes de PS, passa pela utilização de uma lâmina. Com cortes sequencias e transversais na fita produzida, são definidas as dimensões finais dos provetes, apos a definição das medidas utilizadas nos provetes, estes são fracionados.



Figura 2.16: Provete centrado entre amarras.

Para a realização de todos os ensaios, a distância entre amarras foi fixada em 8mm, os provetes são colocados entre as amarras da máquina de forma centrada, para garantir que o ensaio decorre normalmente, evitando o deslocamento/escorregamento do provete, todos os provetes foram produzidos de forma a que, o estiramento ocorra no sentido perpendicular à linha de soldadura de cada uma das fitas. Todos os ensaios dos três materiais foram realizados na máquina universal de ensaios mecânicos, com uma célula de carga 5KN e foram realizados 10 ensaios para cada condição experimental.

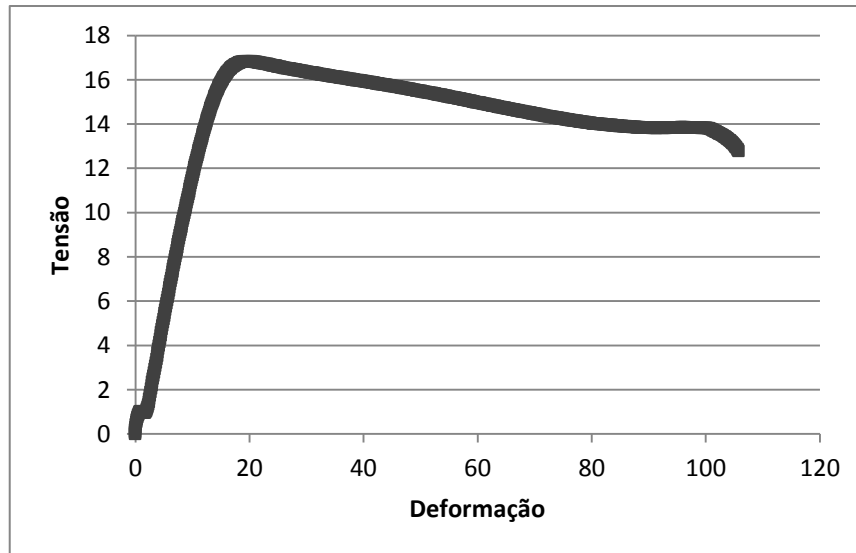


Figura 2.17 Exemplo de curva tensão-deformação típica obtida num ensaio de tração

Para a obtenção de um gráfico padrão (Figura 2.17) que nos fornece informação sobre a deformação de cada material, é necessário fazer alguns cálculos, visto que, o software apenas fornece os dados relativos ao deslocamento, e à força aplicada para prover o deslocamento, deste modo, para calcular o valor da tensão é necessário dividir a força aplicada durante o ensaio sobre a área do provete.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Por sua vez a deformação é dada por:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Onde

l – Comprimento inicial

l_0 – Comprimento final apos aplicada a carga

Para cada ensaio foram realizados cálculos de forma a obter curvas da tensão e deformação de cada provete tracionado.

A Figura 2.17 representa o comportamento típico de um polímero sujeito a um ensaio de tração

Capítulo 3-Apresentação e Discussão de resultados

Neste capítulo são apresentados, analisados e discutidos todos os resultados obtidos, nomeadamente, os relativos à caracterização reológica das matérias-primas (Secção 3.1), do processamento das fitas nos diferentes materiais na produção de perfis (3.2) e do comportamento mecânico das amostras produzidas (Secção 3.3).

3.1 Reologia

3.1.1 Curvas de fluxo

Na Figura 3.1 são apresentados os resultados dos ensaios em corte no regime fluxo e reómetro capilar, obtidos através da caracterização reológica, os quais representam a variação da viscosidade do PP em função da taxa de corte.

Como é possível visualizar nas Figuras (3.1;3.2;3.3), os valores calculados são concordantes com os resultados obtidos experimentalmente, verifica-se também através das Figuras que, com o aumento da temperatura, e da taxa de corte existe uma diminuição nos valores da viscosidade como seria de esperar.

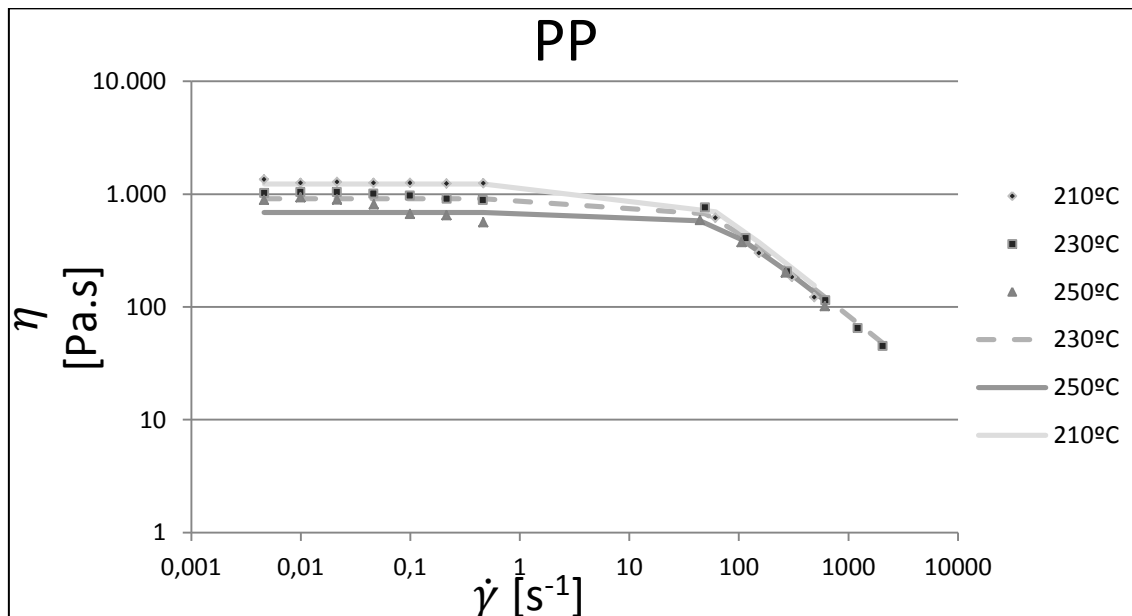


Figura 3.1: Curva de fluxo do PP (Pontos-dados experimentais, linhas-modelos obtidos com Carreau-Yasude e lei de Arrhenius).

Todas as curvas de fluxo, possuem o comportamento esperado, sendo possível observar o patamar Newtoniano a baixas taxas de corte. É possível verificar também que existem duas regiões distintas nos gráficos, a Newtoniana e Reo-Fluidificante.

Para os casos do GFPP (Figura 3.2) e do PS (Figura 3.3) obtiveram-se resultados semelhantes.

De realçar que para todos os materiais, a baixas taxas de corte o patamar Newtoniano encontra-se bem definido.

No caso do GFPP é possível constatar também a diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura. Porém, o efeito da temperatura não é tão visível para taxas de corte mais elevadas, uma vez que estes valores tendem a convergir para um mesmo valor com o aumento da taxa de corte, este efeito, está relacionado com o modelo utilizado.

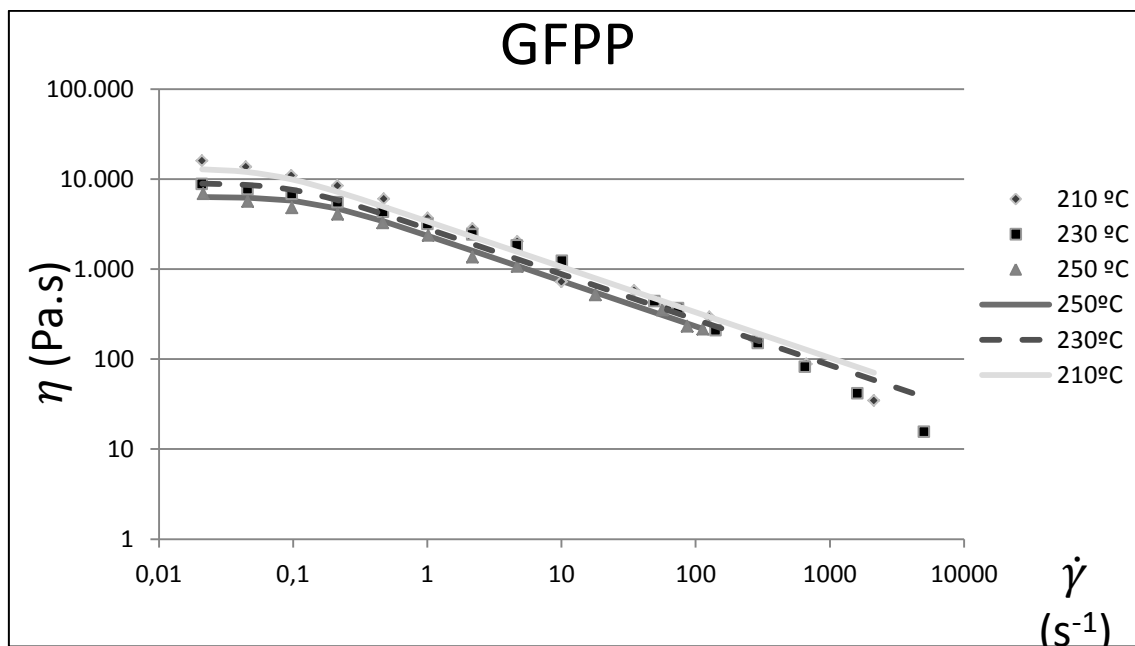


Figura 3.2: Curvas de fluxo do GFPP (Pontos-dados experimentais, linhas-modelos obtidos com Carreau-Yasude e lei de Arrhenius).

Por fim, as curvas de fluxo do PS, à semelhança dos materiais anteriores estão em concordância com os resultados esperados, à medida que a temperatura aumenta há uma redução do valor da viscosidade. Contudo, na caracterização reológica do PS a altas

taxas de corte surgiram algumas dificuldades. O facto de o material fluir facilmente, impedia o registo dos diferentes valores de viscosidade, pois o *software* do reómetro não conseguia obter pontos, suficientemente estáveis adequados à caracterização das curvas em estudo), tendo sido necessário realizar novos ensaios utilizando feiras com 0,5 mm de diâmetro. A utilização destas feiras, permitiu a obtenção de resultados em conformidade com os esperados.

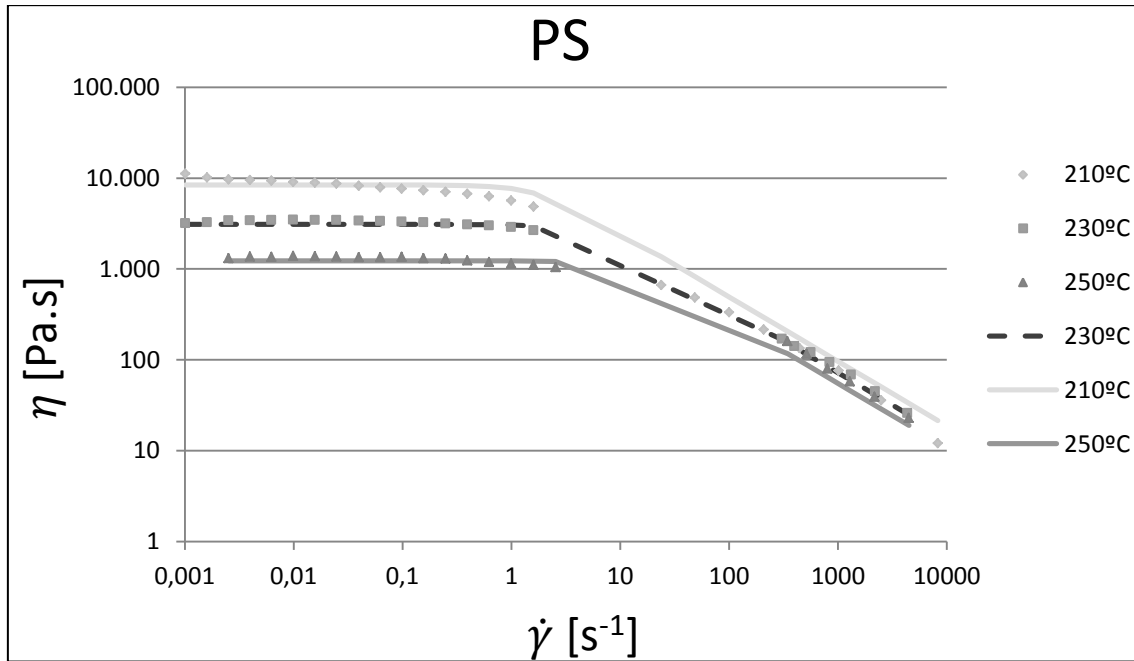


Figura 3.3: Curvas de fluxo do PS (Pontos-dados experimentais, linhas-modelos obtidos com Carreau-Yasude e lei de Arrhenius).

3.1.2 Reometria oscilatória

Nas Figuras 3.4, 3.5 e 3.6 são apresentados os resultados obtidos em regime oscilatório, para os diferentes materiais testados.

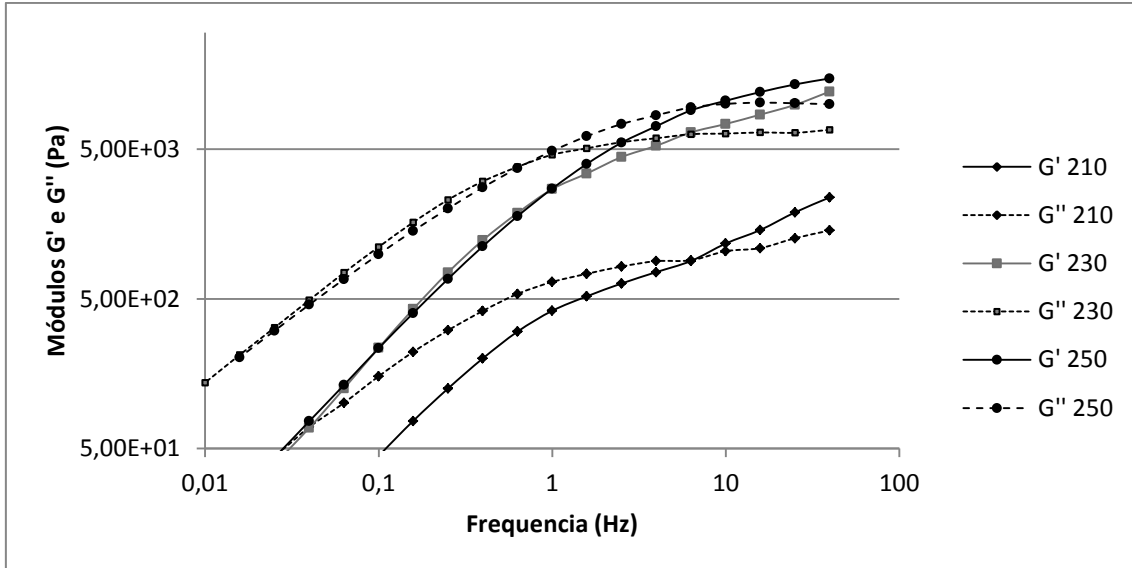


Figura 3.4: Módulos G' e G'' do PP

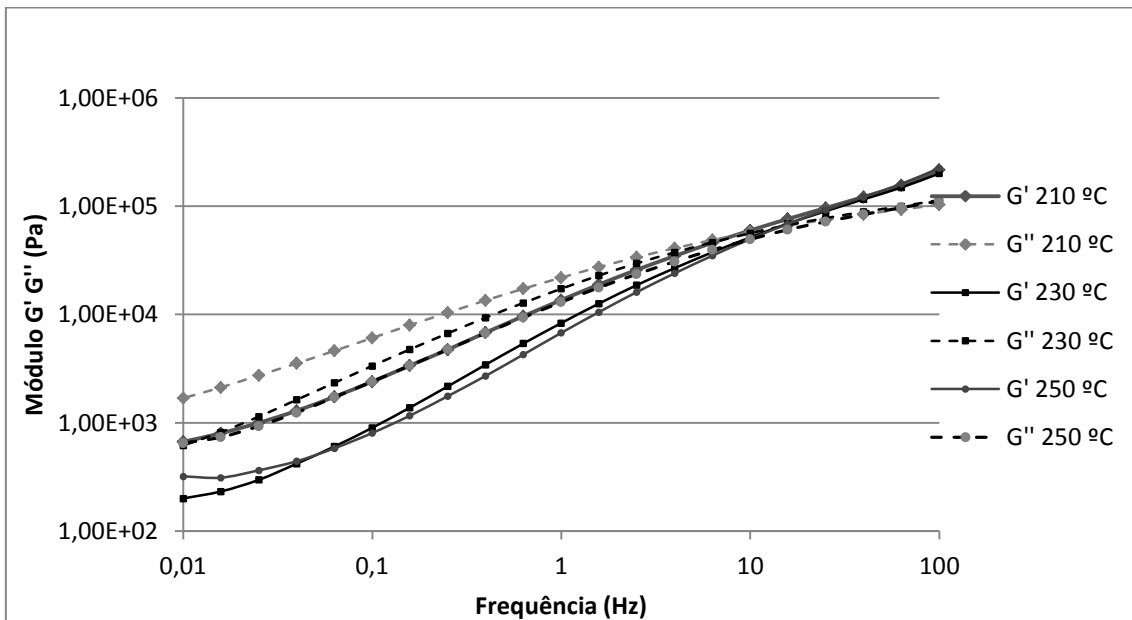


Figura 3.5: Módulos G' e G'' do GFPP.

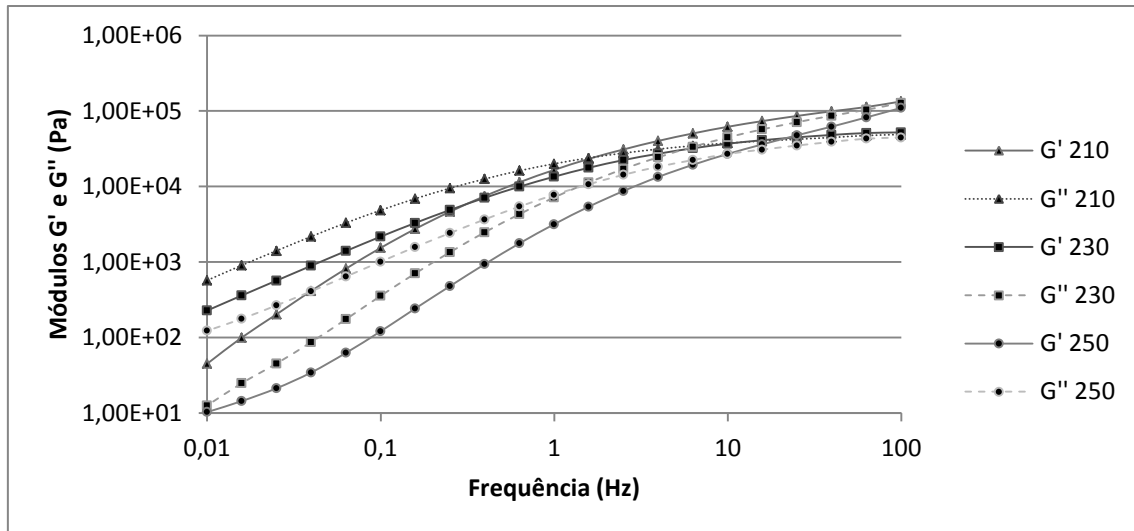


Figura 3.6: Módulos G' e G'' do PS.

Através dos resultados obtidos em regime oscilatório é possível verificar que estes se apresentam coerentes com os resultados esperados, visto que a frequência a que se verifica a interseção das curvas dos módulos G' e G'' diminui com o aumento da temperatura, o comportamento da componente viscosa do tornar-se mais evidente à medida que se aumentam os valores da frequência.

3.2 Processamento

Nesta subsecção, são apresentados os valores de pressão obtidos no interior da feira, bem como a distribuição de espessuras das fitas. O estudo encontra-se dividido em 2 fases, sendo numa primeira fase apresentada a influência da temperatura sobre a pressão no interior da feira, e na segunda fase apresentada a influência da posição da alheta na pressão.

Nas Tabelas 3.1 e 3.2 são apresentados os valores que traduzem o efeito da temperatura de processamento no perfil de pressões obtido.

Tabela 3.2: Influência da temperatura (em C°) na evolução da pressão (em MPa) ao longo da cabeça de extrusão, durante a extrusão de fita de PP, sem alheta.

Distância do transdutor à saída(mm) Temperatura	11.55	31.11	52.89
210	0.400	0.760	2.280
230	0.200	0.590	1.640
250	0.100	0.400	1.610

Tabela 3.3: Influência da temperatura (em C°) na evolução da pressão (em MPa) ao longo da cabeça de extrusão, durante a extrusão de fita de PP com alheta a 2.9 mm da saída.

Distância do transdutor à saída (mm) Temperatura	11.55	31.11	52.89
210	0.310	0.790	0.810
230	0.250	0.440	0.510
250	0.140	0.440	0.530

Os resultados apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2 demonstram que, existe uma diminuição dos valores da pressão à medida que a temperatura aumenta. Este efeito seria expectável dada a redução de viscosidade com o aumento da temperatura.

As Figuras 3.8, 3.9 e 3.10 apresentam os valores da pressão, para diferentes posicionamentos da alheta ao longo da cabeça extrusão. A Figura 3.7 ajuda a compreender as diversas posições da alheta relativamente aos sensores.

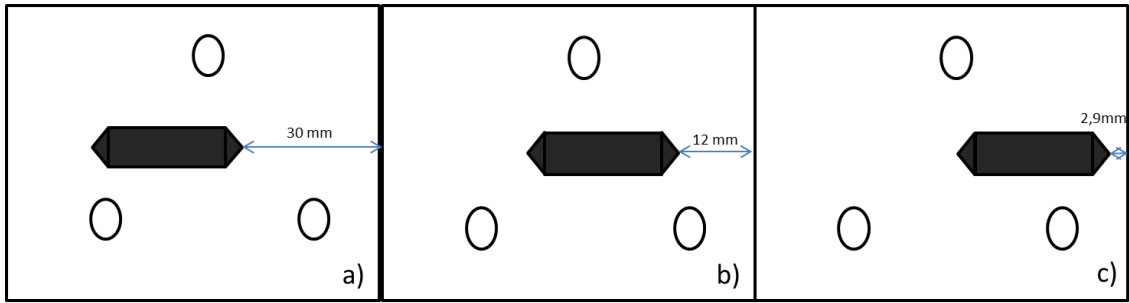


Figura 3.7: Posicionamento da alheta relativamente aos sensores: alheta a 28mm da saída a); alheta a 12mm da saída b); alheta a 2.8mm da saída c).

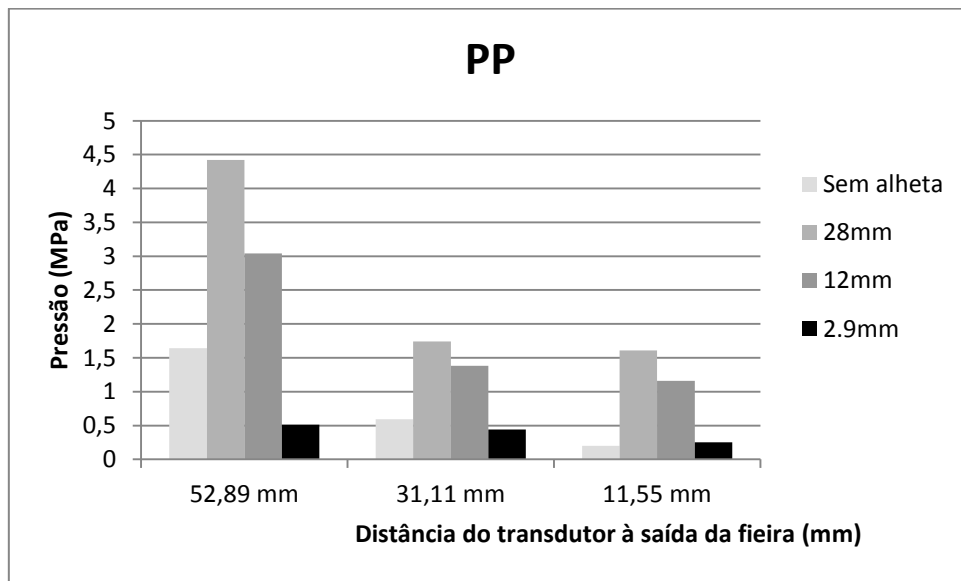


Figura 3.8: Variação da pressão (em MPa) para as diferentes posições da alheta para o PP a 230 °C.

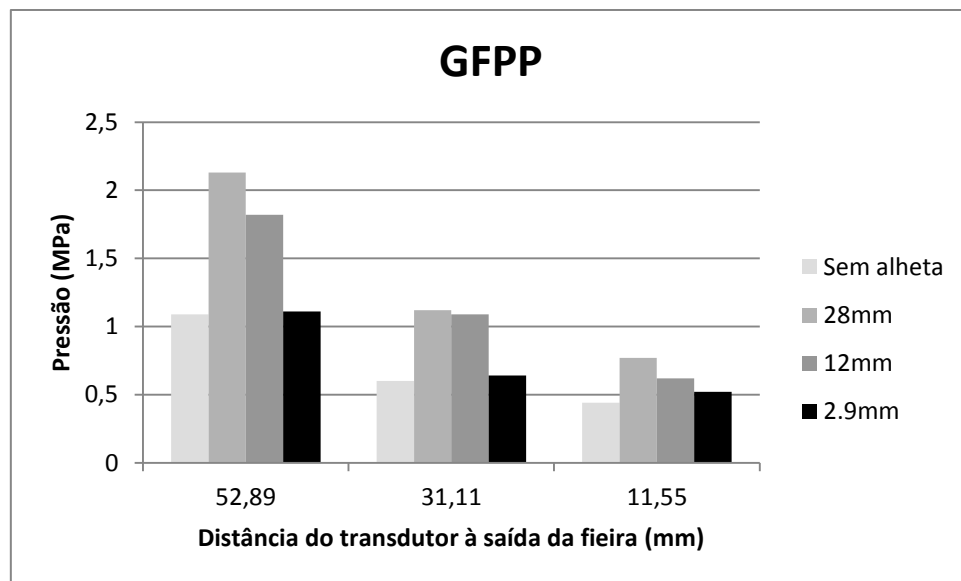


Figura 3.9: Variação da pressão (em MPa) para as diferentes posições da alheta para o GFPP a 230 °C.

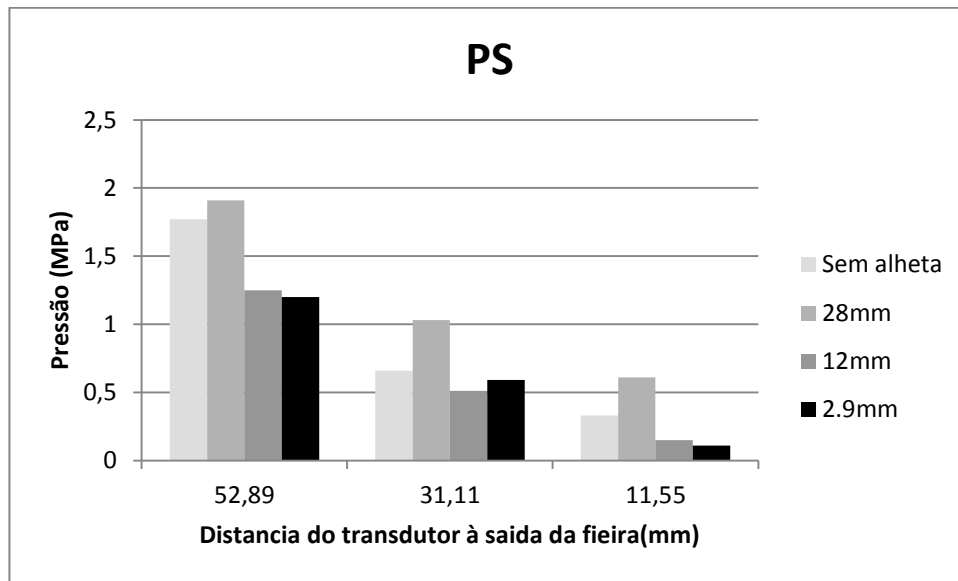


Figura 3.10: Variação da pressão (em MPa) para as diferentes posições da alheta para o PS a 230 °C.

Com os resultados obtidos nas Figuras 3.8, 3.9 e 3.10 é possível verificar uma redução dos valores da pressão nos três transdutores, à medida que a posição da alheta se aproxima da saída da fieira.

No caso do GFPP verificou-se que os resultados obtidos estão de acordo com os resultados esperados, uma vez que, as medições demonstram que a pressão mínima alcançada pelos transdutores, surge quando não existe alheta no interior da fieira. Quando a alheta, que funcionava como um obstáculo o interior da fieira, é removida, o fluxo é facilitado, promovendo consequentemente uma redução da pressão. Contudo, com os ensaios realizados sem alheta no interior da fieira com os polímeros PP e PS foram obtidos valores ligeiramente diferentes do previsto.

3.2.1 Processamento PP

Após o estudo do escoamento no interior da cabeça de extrusão passou-se à extrusão de fita. Após a saída do interior da cabeça, a fita foi imersa em água e puxada pela primeira série de rolos de puxo. A imersão em água à saída da fieira promoverá a

diminuição da contração da fita, garantido simultaneamente as dimensões mínimas necessárias, e um acabamento superficial regular.

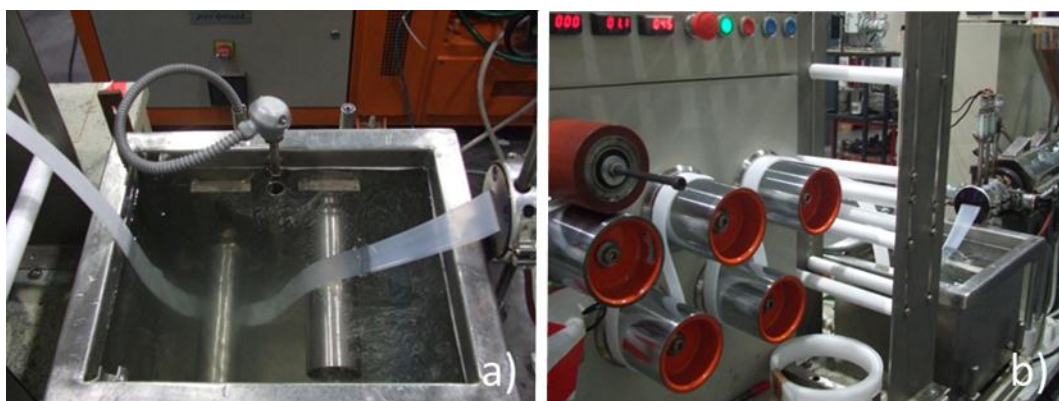


Figura 3.11: Etapas finais da linha de extrusão do PP: imersão em água (a); linha de extrusão completa (b).

Na Tabela 3.3 são apresentados os valores das dimensões nas diversas fitas de PP.

Tabela 3.3: Dimensões das diversas fitas de PP

Posição da alheta	Sem alheta	28mm	12mm	2.9mm
Dimensões médias da fita				
Espessura (mm) Centro da fita	1.75±0.08	1.82±0.08	1.67±0.08	1.08±0.08
Largura (mm)	29.25 ±0.05	30.80±0.05	30.30±0.05	24.20±0.05

Através da Tabela 3.3 e da Figura 3.11, onde é possível visualizar o aspeto transversal das fitas de PP processadas com diferentes condições, pode-se verificar que a fita de PP sofre uma redução bastante acentuada da espessura no local da linha de soldadura à medida que a alheta é aproximada da saída na feira. Estes valores encontram-se de acordo com os resultados esperados, pois à medida que a alheta se aproxima da saída, o material dispõe de menos tempo para se voltar a unir no interior da

feira, a assim eliminar o efeito da linha de soldadura, voltando a redistribuir uniformemente o fluxo, Como o efeito restritivo da alheta não é suprimido, o déficit local de fluxo promove a redução de espessura.

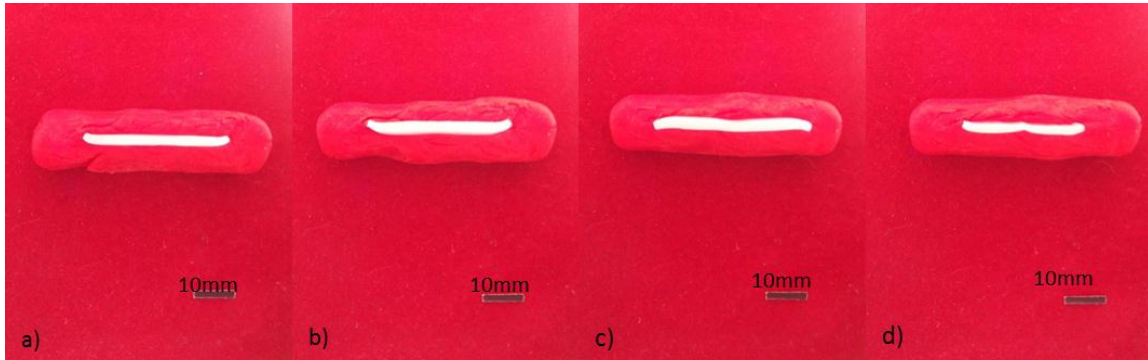


Figura 3.12: Aspeto transversal das fitas de PP com diferentes condições a) sem alheta; b) L= 28mm c) L= 12mm d) L= 2.9mm.

3.2.2 Processamento do GFPP

O comportamento do GFPP requer várias alterações no processo de extrusão. no procedimento final, uma vez que este ao entrar em contacto com a água começa a contrair imediatamente, assim neste caso, a primeira série de rolos destina-se apenas, à orientação da fita, para o interior da estufa, a fita passa somente pelos rolos no sentido horizontal, não os contornando na totalidade como é possível verificar na Figura 3.13 a).

Após a passagem pela primeira série de rolos, a fita entra para a estufa onde é sujeita a um aquecimento de 65 °C que permitindo, deste modo, um melhor manuseamento da fita, facilitado o contorno na segunda série de rolos, que é contornada na totalidade, ao contrário da primeira série de rolos, imagem detalhada na Figura 3.13 b).

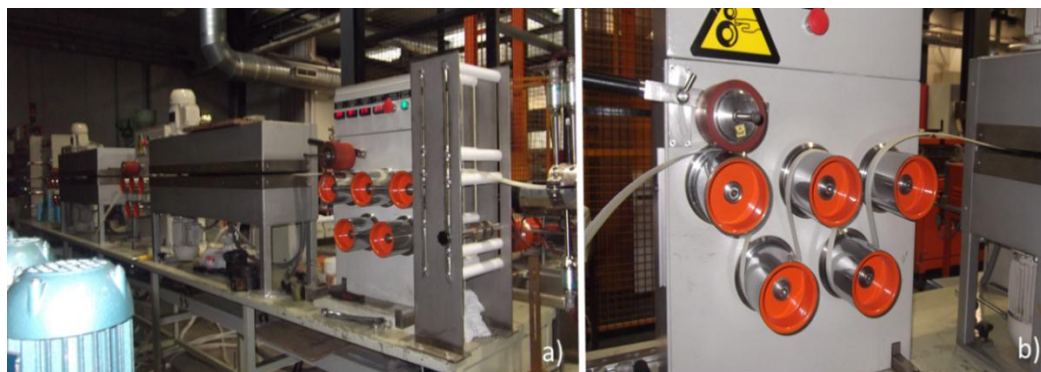


Figura 3.13: Etapas finais da linha de extrusão do GFPP: etapa completa a) 2ª serie de rolos de puxo b).

A Tabela 3.4 apresenta os valores das dimensões das diferentes fitas de GFPP.

Tabela 3.4: Dimensões das diversas fitas de GFPP

Posição da alheta / Dimensões médias da fita	Sem alheta	28mm	12mm	2.9mm
Espessura (mm)	2.00±0.06	1.56±0.06	1.74±0.06	2.05±0.06
Largura (mm)	37.50±0.05	29.45±0.05	29.55±0.05	30.05±0.05

Através dos resultados obtidos para as fitas de GFPP apresentados na Tabela 3.4 e Figura 3.14, onde é apresentado o aspeto transversal das fitas de GFPP processadas em diferentes condições, é possível concluir que estes não estão de acordo com o esperado, pois no local da linha de soldadura existe um aumento da espessura à medida a alheta se aproxima da saída da fieira.

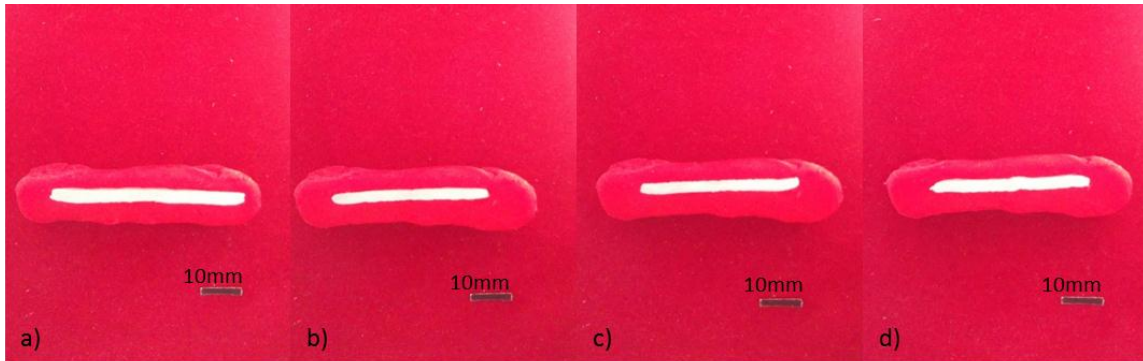


Figura 3.14: Aspeto transversal das fitas de GFPP com diferentes condições de processamento: a) sem alheta; b) L= 28mm c) L= 12mm d) L= 2.9mm.

3.2.3 Processamento do PS

Finalmente, no caso do PS e devido à especificidade e instabilidade comportamental deste, a solução final encontrada para o seu processamento requer a colocação da fieira o mais próximo possível dos primeiros rolos de puxo, para evitar a deformação motivada do peso do próprio fundido, ficando a fieira a poucos centímetros dos rolos de puxo, como é ilustrado na Figura 3.15 a). Mais uma vez, os rolos da primeira série têm como função encaminhar a fita para o interior da estufa, como acontece no caso do GFPP. Porém, no caso do PS o material é arrefecido, uma vez que a temperatura no interior da estufa estava regulada para 20 °C, com o objetivo de promover a solidificação do material. Por fim, a fita passa pela segunda série de rolos apenas no sentido horizontal Figura 3.15 b), não ocorrendo portanto estiramento da fita, sendo então recolhidas as amostras para os ensaios de tração.

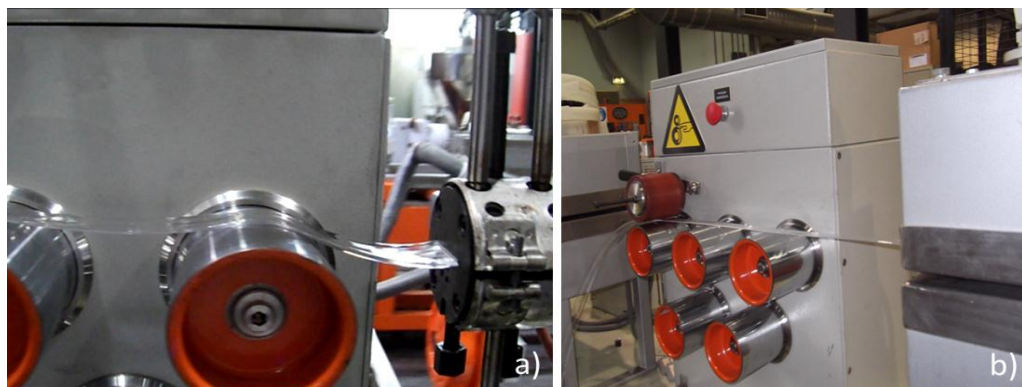


Figura 3.15: Etapas finais da linha de extrusão do PS: contacto da fita com a 1ª serie de rolos (a) 2ª serie de rolos de puxo (b).

A Tabela 3.5 apresenta os valores das dimensões na zona central da fita e da largura nas diversas fitas de PS.

Tabela 3.5: Dimensões das diversas fitas de PS

Posição da alheta	Sem alheta	28mm	12mm	2.9mm
Dimensões médias da fita				
Espessura (mm) Centro da fita	2.70±0.05	2.37±0.05	2.19±0.05	1.84±0.05
Largura (mm)	32.30±0.05	30.65±0.05	31.85±0.05	30.55±0.05

A nível das espessuras das fitas produzidas, na zona de formação da linha de soldadura (zona central da fita), existe uma redução gradual da espessura da fita processada sem alheta até à fita processada com a alheta na posição mais próxima da saída, estas reduções de espessura ocorrem essencialmente na zona onde é colocada a alheta. Estes valores podem ser confirmados através da Tabela 3.5 e da Figura 3.16 onde se pode observar o aspeto transversal das fitas de PS produzidas nas diferentes condições.

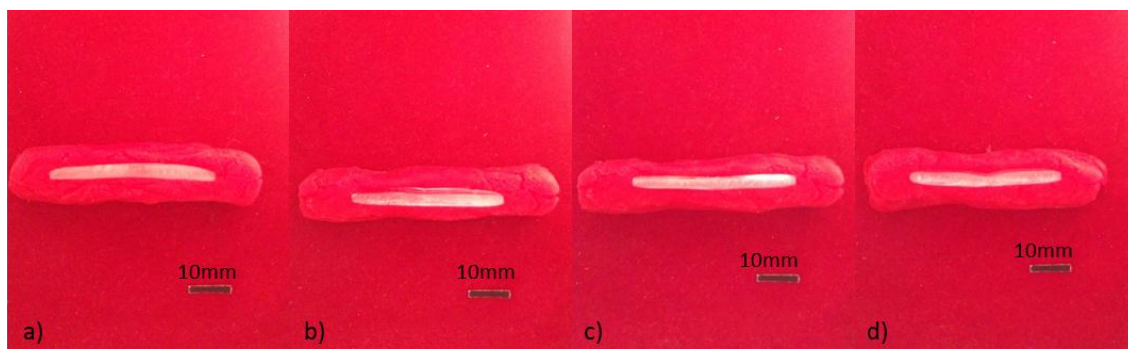


Figura 3.16: Aspeto transversal das fitas de PS com diferentes condições a) sem alheta; b) $L= 28\text{mm}$ c) $L= 12\text{mm}$ d) $L= 2.9\text{mm}$.

3.3 Caracterização mecânica

Nesta subsecção, será avaliado o efeito provocado pela existência da linha de soldadura, tentando-se quantificar a influência da temperatura de extrusão e do posicionamento da alheta no comportamento mecânico das fitas produzidas.

3.3.1 Caracterização Mecânica do PP

A diferença de espessuras existente em cada fita, representada parcialmente na Tabela 3.3 por exemplo, (ver Anexos 5, 6 e 7) pode constituir um obstáculo à medição correta dos valores obtidos neste tipo de ensaios. Com o objetivo de compreender de que modo as espessuras das fitas influenciam a deformação, fitas obtidas por diferentes condições experimentais foram polidas para se obterem provetes com uma espessura uniforme, e assim verificar de que forma as espessuras, e o polimento das amostras influenciam a alteração nos resultados de tensão.

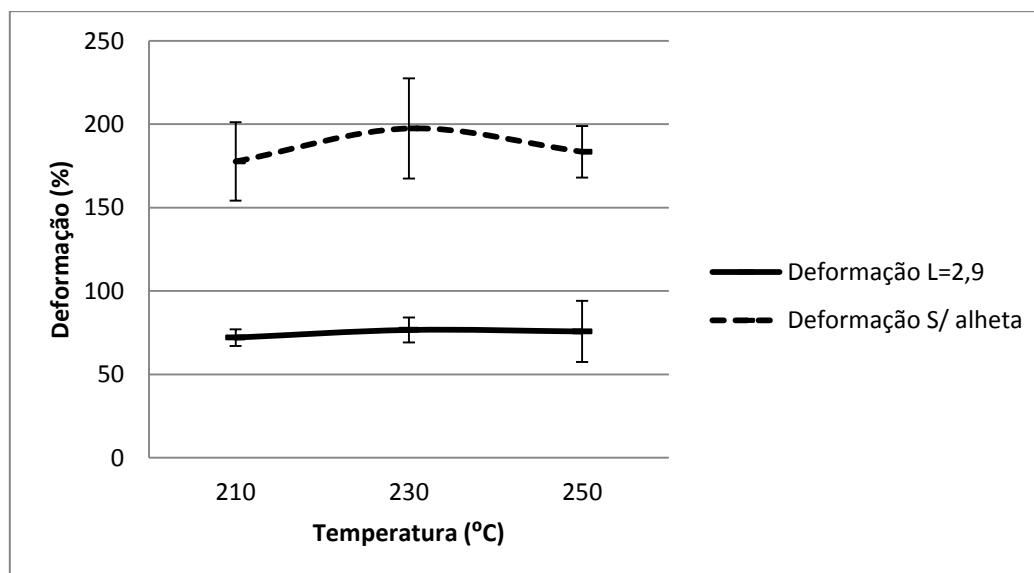
Na Tabela 3.6 são apresentadas as alterações na deformação à rotura que surgem quando a fita polimérica é polida comparativamente com amostras não polidas.

Tabela 3.6: Influência do polimento das amostras na deformação de rotura do PP.

Condições		Amostras sem polir		Amostras polidas	
Posição da alheta	Temperatura	Deformação	SD	Deformação	SD
L= 12mm	210	102,03	5,547782	103	11,41159
L= 12mm	230	115,458	14,9049	115,29	15,74572
L= 28mm	230	165,001	19,97823	156,233333	12,67064

Os resultados apresentados na Tabela 3.6 demonstram que a uniformidade de espessuras no provete não é uma condição necessária para a obtenção de resultados fidedignos da deformação à rotura, visto que os valores obtidos para os provetes polidos e não polidos são muito semelhantes. Estes valores são corroborados também com o facto de serem utilizados os valores médios da espessura de cada provete, uma vez que, estes valores são medidos na zona central do provete, a zona da linha de soldadura (área com pouca diminuição de espessura após o polimento das amostras), e os cálculos da deformação à rotura e da tensão de cedência utilizam apenas os valores da espessura da zona central da fita. O facto de polir toda a amostra não influencia deste modo a precisão da deformação de rotura e da tensão de cedência.

Nas figuras seguintes são apresentados o efeito da temperatura na tensão de cedência e deformação à rotura dos provetes produzidos.

**Figura 3.17:** Influência da temperatura na deformação à rotura do PP.

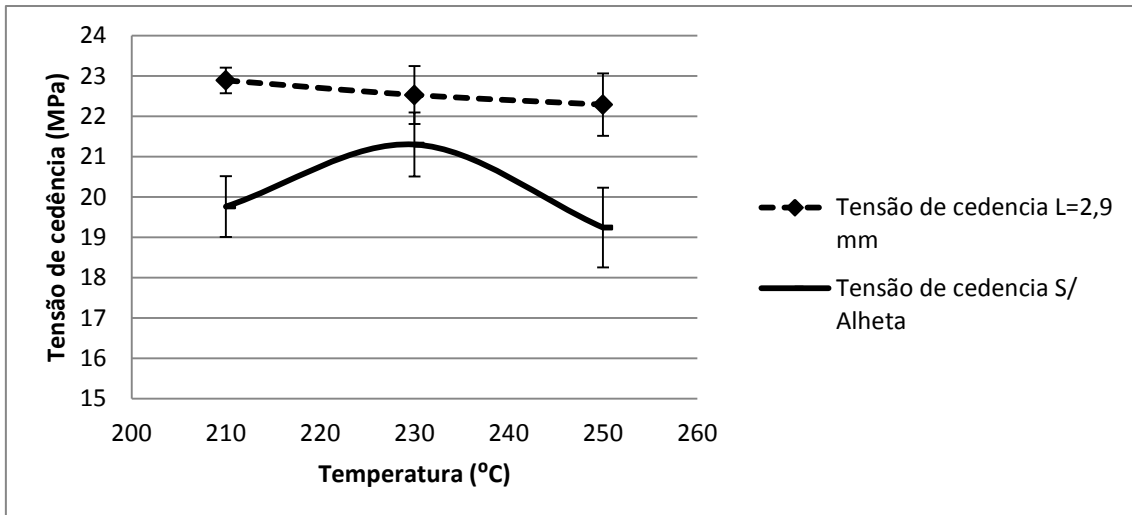


Figura 3.18: Influência da temperatura na tensão de rotura do PP.

Através da análise das Figuras 3.17 e 3.18, é possível constatar que com a alteração da temperatura, os valores da tensão de cedência e da deformação à cedência não sofrem grandes variações, estando a maioria dos pontos abrangidos pelos desvios padrão dos pontos vizinhos. A variável temperatura apresenta deste modo pouca influência no dano provocado pela linha de soldadura.

As figuras seguintes representam o efeito do posicionamento da alheta na tensão e deformação de rotura, para o PP.

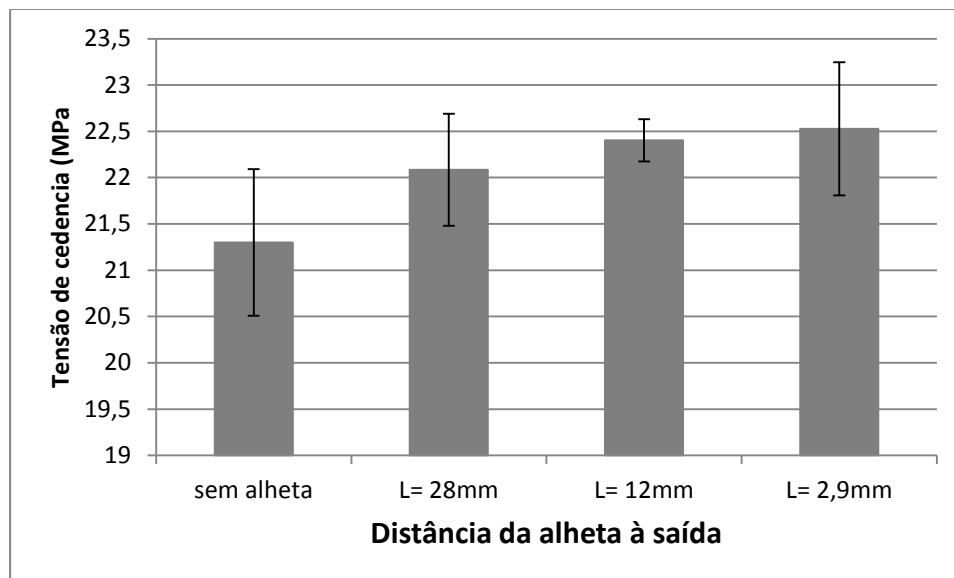


Figura 3.19: Influência da posição da alheta na tensão de cedência do PP.

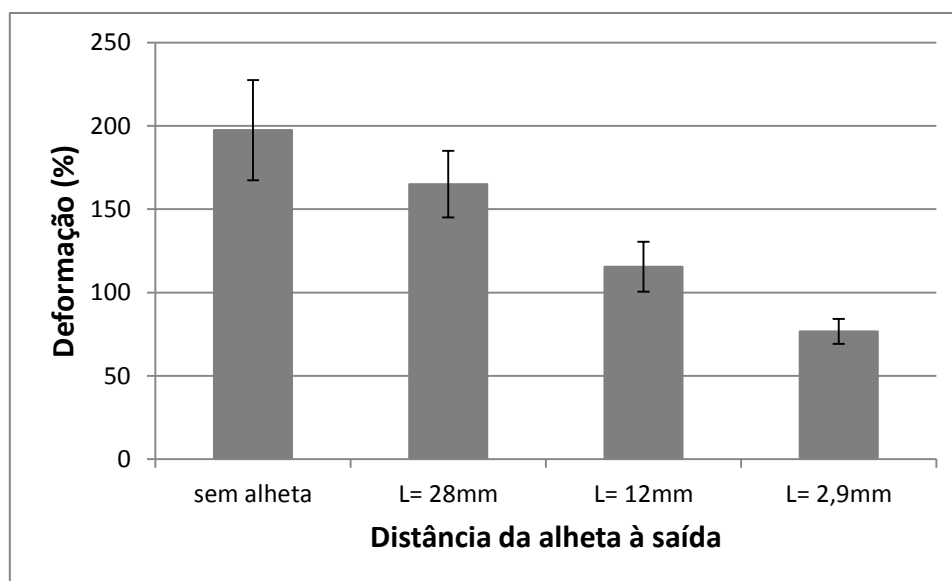


Figura 3.20: Influência da posição da alheta na deformação à rotura do PP.

Pelas Figuras 3.19 e 3.20 é possível afirmar que a aproximação da alheta à saída da fieira não influencia a tensão de cedência do PP. Nestes ensaios, pode dizer-se que a interligação molecular parece ser conservada, mesmo quando o fluxo é forçado a formar duas frentes de fluxo.

A deformação à cedência observada nos ensaios está relacionada com as espessuras dos provetes. Quanto menor a espessura na zona de formação da linha de soldadura, dos provetes, consequência da proximidade da alheta à saída da fieira, menor é o valor da deformação necessária para estes atingirem a rotura. Comprovado pelos valores da Tabela 3.3 e da Figura 3.20.

A Figura 3.21 demonstra o estado final dos provetes quando sujeitos a ensaios de tração.

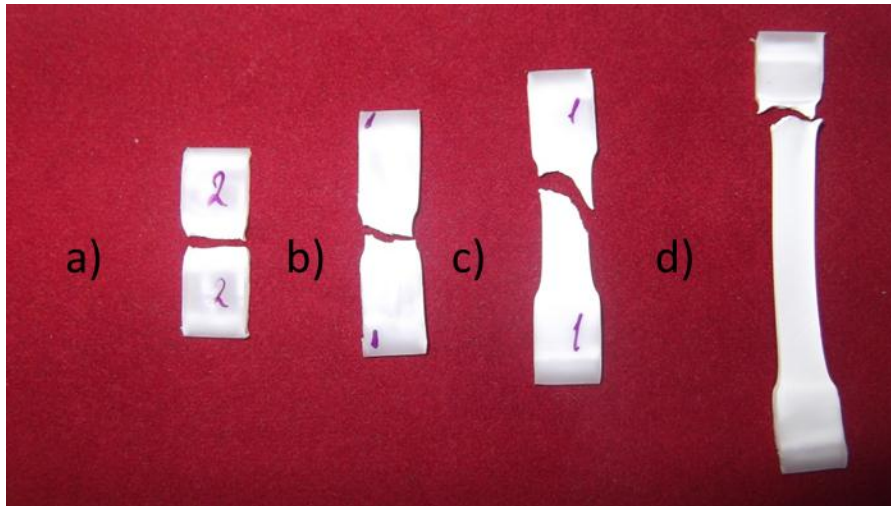


Figura 3.21: Aspeto típico final dos provetes de PP de pois de tracionados: a) L=2.mm; b) L= 12mm; c) L= 28mm; d) Sem alheta.

Através da Figura 3.21 b), c) e d) é possível observar um estiramento nos provetes obtidos em diferentes condições. o grande estiramento visível nos provete sem alheta, e com a alheta na posição mais recuada é um indicativo que, estas amostras são mais resistentes à rotura, e tal como seria de esperar, a zona da linha de soldadura é a zona mais débil do provete, possuindo uma superfície de rotura muito localizada na zona da linha de soldadura.

3.3.2 Caracterização mecânica do GFPP

As figuras seguintes apresentam o comportamento da tensão e deformação de rotura dos provetes de GFPP quando sujeitos aos ensaios de tração.

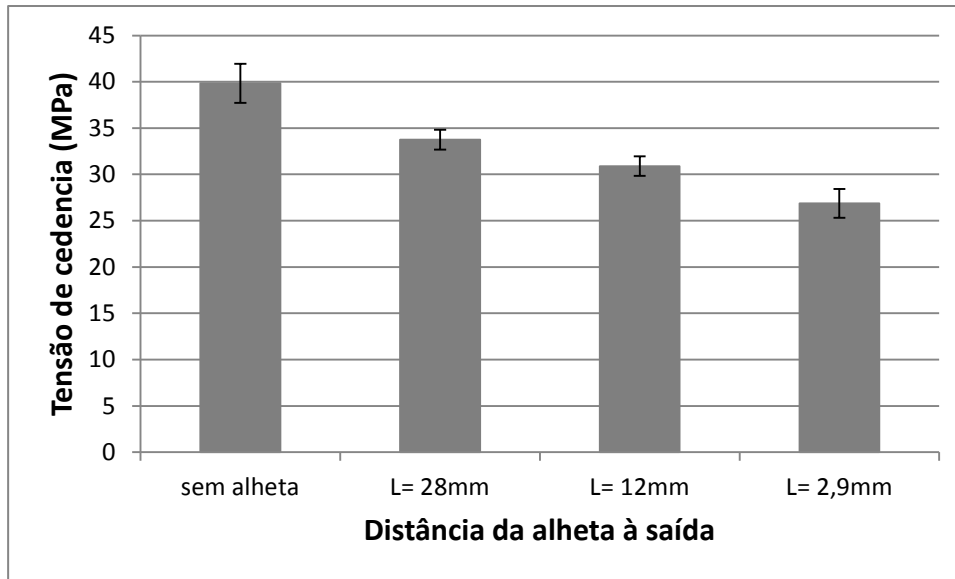


Figura 3.22: Influência da posição da alheta na Tensão de cedência do GFPP.

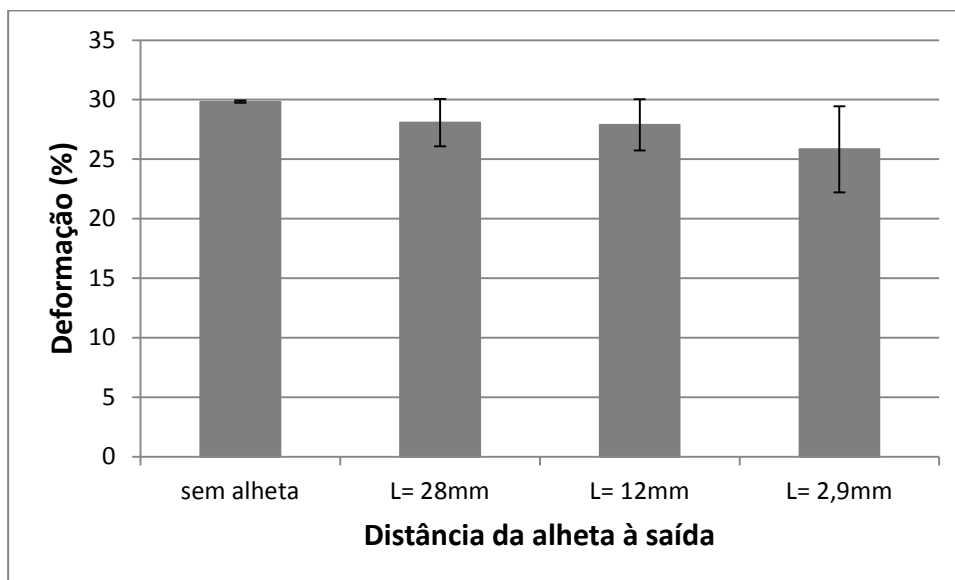


Figura 3.23: Influência da posição da alheta na deformação à cedência do GFPP.

O GFPP apresenta o comportamento esperado, tal como se pode observar pelas Figuras 3.22 e 3.23. É também possível observar que, com a aproximação da alheta à saída da fieira, os valores da deformação à cedência tendem a diminuir, do mesmo modo que os valores da tensão de cedência. Pode assim depreender-se que a linha de soldadura perde qualidade, com a aproximação da alheta da saída.

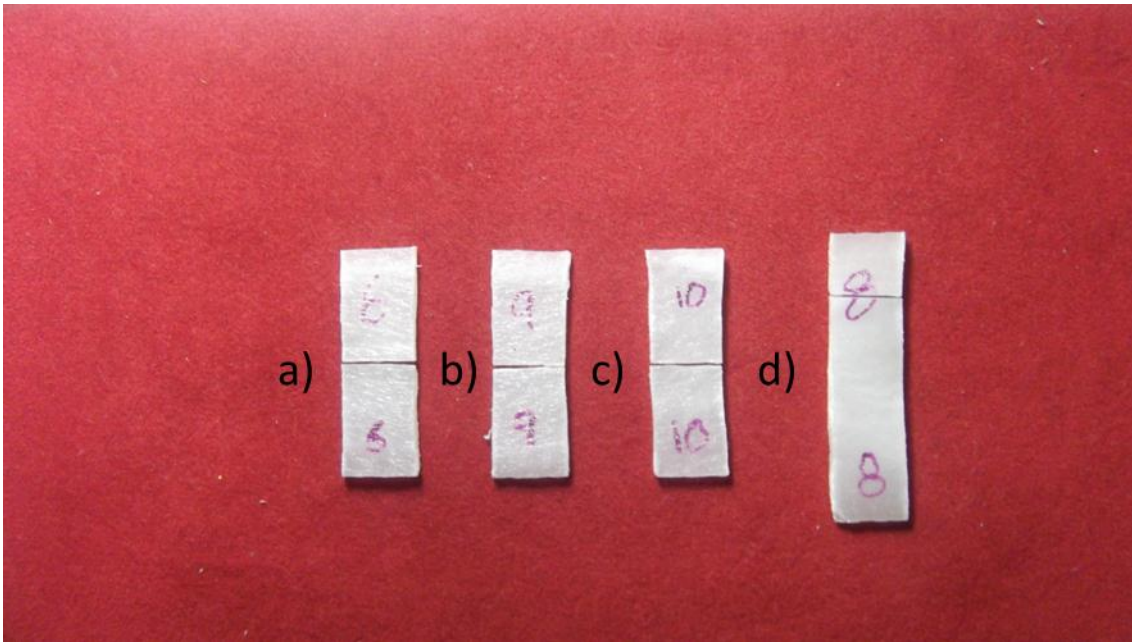


Figura 3.24 Aspeto final dos provetes de GFPP de pois de tracionados: a) $L=2$.mm; b) $L= 12$ mm; c) $L= 28$ mm; d) Sem alheta.

A Figura 3.24, que apresenta o estado final dos provetes de GFPP depois de tracionados, demonstra a pequena diferença de deformação à cedência dos provetes de GFPP, este facto pode estar relacionado fibras que estão orientadas na direção de fluxo impede a distribuição da rotura, não existindo um grande estiramento quando a alheta se afasta da saída da fieira, porem a rotura do provete ocorre sempre no local da alheta, quando esta é empregue, também patente na Figura 3.21. No caso dos provetes de fita produzida sem alheta (Figura 3.24 d)) o valor da deformação à rotura é superior.

3.3.3 Caracterização mecânica do PS

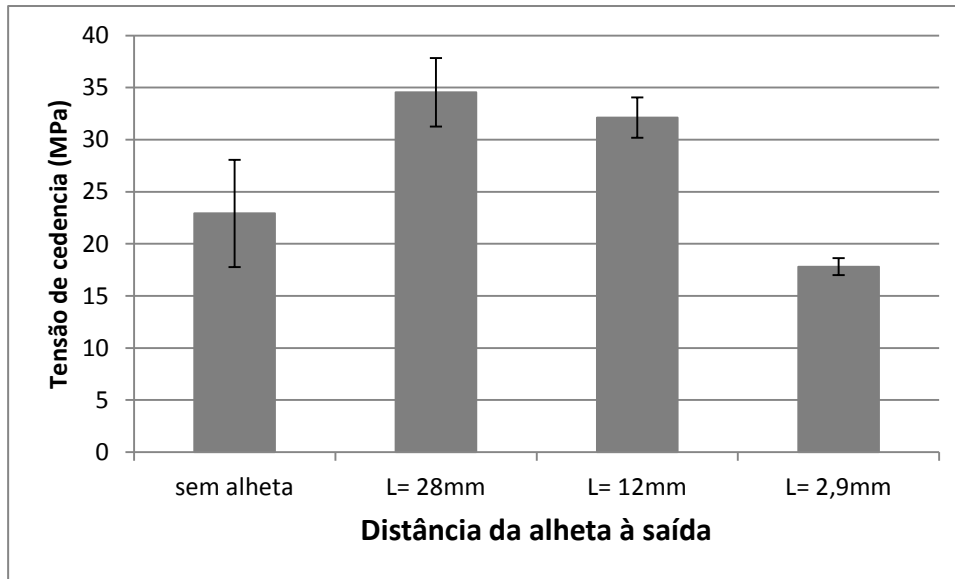


Figura 3.25: Influência da posição da alheta na Tensão de cedência do PS.

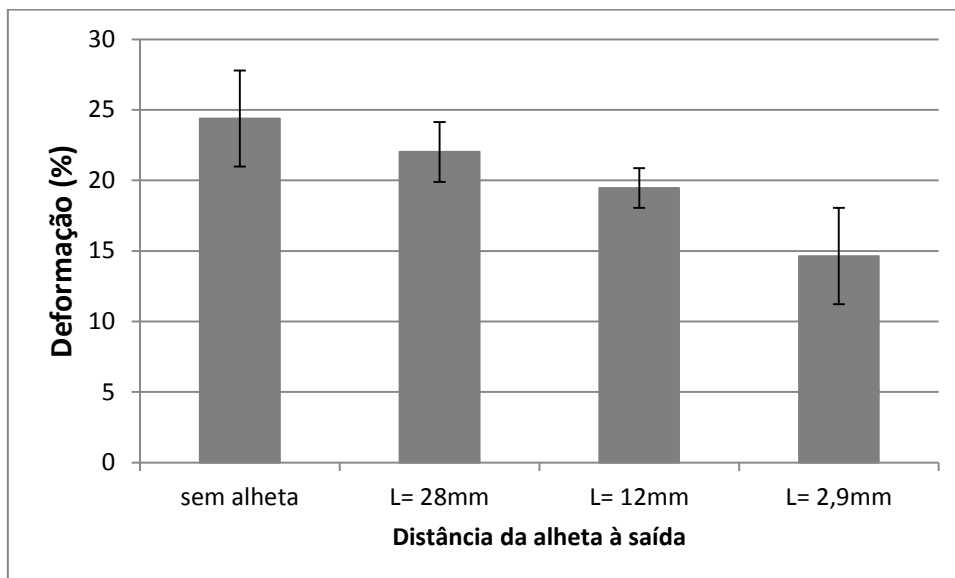


Figura 3.26: Influência da posição da alheta na deformação à cedência do PS.

O PS apresenta um comportamento idêntico ao do PP, sendo a tensão de cedência (Figura 3.25) independente do posicionamento da alheta, podendo indicar que, também para o PS, a interligação molecular é preservada.

Na Figura 3.26, os dados relativos à deformação de rotura demonstram que esta é afetada com a alteração do posicionamento da alheta, pois com a aproximação da

alheta à saída da fieira existe uma diminuição da espessura da linha de soldadura, referido anteriormente, existindo uma diminuição dos valores da deformação de rotura.

Na Figura 3.27 são apresentados os provetes de PS após serem submetidos aos ensaios de tração.

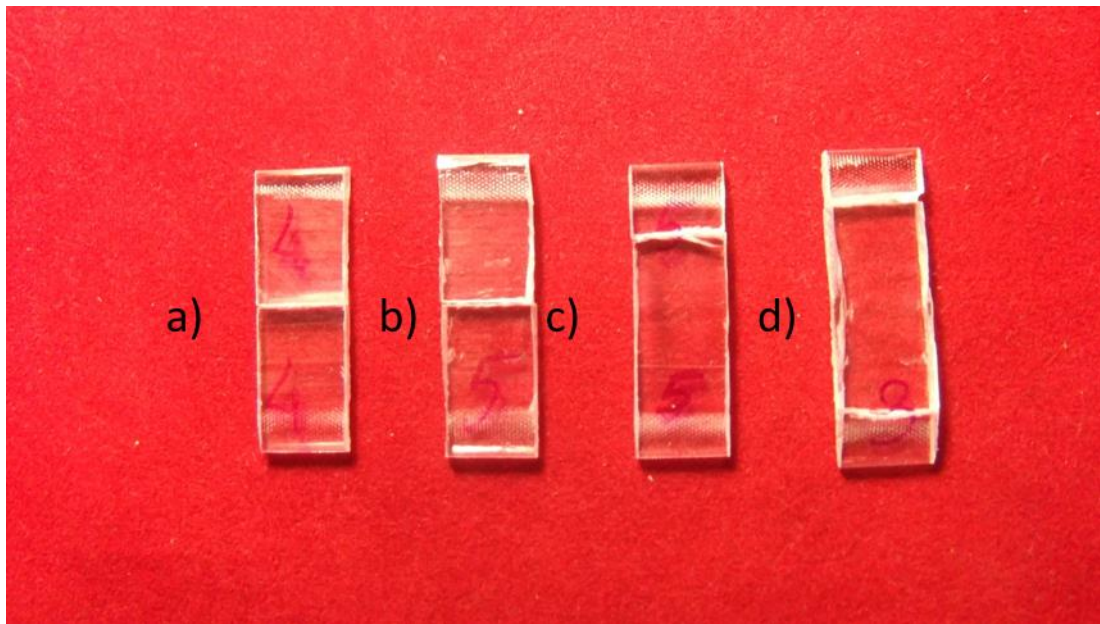


Figura 3.27 Aspeto final dos provetes de PS de pois de tracionados: a) L=2.mm; b) L= 12mm; c) L= 28mm; d) Sem alheta.

As imagens apresentadas na Figura 3.26 demonstram que, os provetes que possuem a alheta mais próxima da saída da fieira possuem uma resistência menor na zona da linha de soldadura, por sua vez, os provetes produzidos com a alheta mais recuada e os provetes produzidos sem alheta possuem uma maior resistência à deformação. No caso do PS, a rotura dos provetes sem alheta, e com a alheta a 28 mm da saída, demonstram já uma elevada resistência na zona central do provete, não sendo esta a zona de rotura de nenhum dos provetes utilizados no decorrer dos ensaios de tração.

Capítulo 4-Conclusão

4 Conclusões

Com a realização desta dissertação pretendia perceber-se o comportamento de diferentes materiais quando sujeitos a uma separação das frentes de fluxo e conseqüentemente a formação de linhas de soldadura. Com o objetivo de compreender melhor o seu comportamento foram efetuados diversos ensaios, com diversas condições de processamentos, em três materiais distintos.

Após realização do presente trabalho, é possível afirmar que os objetivos inicialmente propostos foram cumpridos. Visto que conseguiu-se verificar o efeito do posicionamento da alheta, e o efeito da temperatura na deformação.

Após caracterização reológica, é possível afirmar que esta foi realizada com sucesso, uma vez que através desta constatou-se que, para todos os materiais existe uma redução da viscosidade com o aumento da temperatura.

Na caracterização mecânica dos materiais e nos primeiros ensaios realizados, à espessura das amostras, foi possível concluir que o polimento das fitas, não constitui um passo necessário, uma vez que os resultados obtidos são semelhantes com ou sem polimento de amostras.

Por fim, através dos ensaios mecânicos dos provetes de PP, é possível verificar que a temperatura não tem grande influência na deformação de rotura, não promovendo alterações significativas na deformação à rotura, nem na tensão de cedência.

A diminuição dos valores da tensão de cedência nas fitas de PP, à medida que a alheta se aproxima da saída da fieira, pode estar relacionada com a diminuição, da quantidade de polímero acumulado na zona da linha de soldadura (menor espessura). Por sua vez os ensaios com GFPP demonstraram que a tensão de cedência diminui com a aproximação da alheta à saída da fieira. Finalmente nos ensaios mecânicos do PS foi possível concluir que os valores da tensão de cedência não estão diretamente relacionados com a aproximação da alheta à saída da fieira, mas possivelmente devido a uma menor concentração de material na zona da linha de soldadura

Através dos resultados obtidos, foi possível verificar que a diminuição da distância entre o final da alheta e a saída da fieira provoca nos três polímeros uma diminuição da deformação à rotura, devido à fragilidade da linha de soldadura formada nesse ponto.

5 Sugestão para trabalhos futuros

Face à impossibilidade de na presente dissertação, utilizar os resultados obtidos pela caracterização reológica, para a simulação numérica, a sua aplicação seria um aspeto a ter em consideração em trabalhos futuros, visto que, a simulação numérica dos diferentes materiais no interior da fieira se revela bastante importante na compreensão do comportamento polimerico.

No sentido de compreender melhor a potencialidade da aplicação da alheta no interior da fieira, seria importante a realização de ensaios que permitam conceber uma descrição alargada do efeito do posicionamento da alheta em vários materiais. Desta forma seria interessante aumentar o número de posições onde a alheta é colocada, obtendo deste modo um espectro completo do comportamento, que esta exerce sobre a tensão de cedência e a deformação de rotura.

6 Bibliografia

- [1] T. A. Osswald, L.-S. Turng, and P. J. Gramann, *Injection molding handbook*. 2002.
- [2] W. Gordon, C. Vantyne, and Y. Moon, "Overview of adaptable die design for extrusions," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 187-188, pp. 662-667, Jun. 2007.
- [3] D. V. Rosato, *Extruding plastics : practical processing handbook*. London: Chapman & Hall, 1998.
- [4] J. Sienz; A. Goublomme, and M. Luege, "Sensitivity analysis for the design of profile extrusion dies," *Computers and Structures*, vol. 88, no. 9-10, pp. 610-624, 2010.
- [5] S. Levy, J. F. Carley, I. Klein, M. MacKelvey, and T. King, *Plastics extrusion technology handbook*, 2nd ed. 1989.
- [6] F. Hensen and U. Berghaus, *Plastics extrusion technology*, 2nd ed. 1997.
- [7] Y. Chung, "Melt front surface asperity and welding-defect generation in ceramic injection molding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 111, no. 1-3, pp. 219-224, Apr. 2001.
- [8] R. W.-F. / Jehuda Greener, *Precision injection molding : process, materials and applications*, Hanser Pub. Munich: , 2006.
- [9] M.-Y. Chen, H.-W. Tzeng, Y.-C. Chen, and S.-C. Chen, "The application of fuzzy theory for the control of weld line positions in injection-molded part.," *ISA transactions*, vol. 47, no. 1, pp. 119-26, Jan. 2008.
- [10] B. Ozcelik, E. Kuram, and M. M. Topal, "Investigation the effects of obstacle geometries and injection molding parameters on weld line strength using experimental and finite element methods in plastic injection molding," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Dec. 2011.
- [11] H. . Jo, S. . Lee, S. . Lee, and B. . Kim, "Prediction of welding pressure in the non-steady state porthole die extrusion of Al7003 tubes," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 42, no. 6, pp. 753-759, May 2002.
- [12] N. Nanninga, C. White, O. Mills, and J. Lukowski, "Effect of specimen orientation and extrusion welds on the fatigue life of an AA6063 alloy," *International Journal of Fatigue*, vol. 32, no. 2, pp. 238-246, Feb. 2010.

- [13] P. F. Bariani, S. Bruschi, and a. Ghiotti, “*Physical Simulation of Longitudinal Welding in Porthole-Die Extrusion*,” *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 55, no. 1, pp. 287-290, Jan. 2006.
- [14] O. G. Ersoy and N. Nugay, “*Combined effect of the nature of the filler and the compatibilizer on the weld line properties of filled blends*,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 38, no. 1, pp. 162-173, Jan. 2007.
- [15] K. Kim, “*Investigation into the improvement of welding strength in three-dimensional extrusion of tubes using porthole dies*,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 130-131, pp. 426-431, Dec. 2002.
- [16] N. P. Cheremisinoff, *Polymer Rheology and processing*. Boca Raton: CRC Press, 1993.
- [17] K. Barnes, H. A. / Hutton, J. F. / Walters, *An introduction to rheology*. Amsterdam: Elsevier, 1989.
- [18] B. B. Guerra, C. R. G. Furtado, and F. M. B. Coutinho, “*Avaliação Reológica de Elastômeros e suas Composições*,” vol. 14, pp. 289-294, 2004.
- [19] A. Y. Malkin, *Rheology Fundamentals*, Research I. Toronto-Scarborough: Chemtec Publishing, 1994.
- [20] R. P. Carreau, Pierre J./ De Kee, Daniel C.R. / Chhabra, *Rheology of Polymeric Systems*. Munich: Hanser Publishers, 1997.
- [21] A. Gaspar-Cunha, “*Modelling and Optimisation of Single Srew Extrusion*,” University of Minho, 2000.
- [22] E. Riande, *Polymer viscoelasticity : stress and strain in practice*. New York: Marcel Dekker, 2000.
- [23] J. J. M. Baltussen and M. G. Northolt, “*The stress and sonic modulus versus strain curve of polymer fibres with yield*,” *Polymer*, vol. 40, pp. 6113-6124, 1999.

Anexos

Anexo 1: Ficha técnica PP



UNIPETROL RPA
Litvínov - Záluží 1
Czech Republic

Issued: 2007-10
Replaced edition: 2006-06

MATERIAL SPECIFICATION**POLYPROPYLENE****GENERAL PURPOSE BLOCK COPOLYMER****MOSTEN GB 503***Characteristics*

MOSTEN GB 503 is a block copolymer, suitable for injection moulding of technical parts with high demands on impact strength. Further application can be manufacture of co-extruded films for subsequent thermoforming and manufacture of compounds.

Hygienic approval

MOSTEN GB 503 meets the hygienic requirements on materials and articles intended for contact with foodstuffs according to Regulation (EC) 1935/2004 of the European Parliament and of the Council, as well as according to Commission Directive 2002/72/EC.

ISO designation

ISO 1873-PP-B,GM,10-35-022

<i>Quality parameter</i>	<i>Unit</i>	<i>Values</i>	<i>Test method</i>
Melt Flow Rate (230/2,16)	g/10 min	1 - 4	ISO 1133
Pellet Size	pc/g	25 - 60	Clause 3.3.1.2
Volatile Matter Content	%	max. 0,1	ISO 1269
Yellowness Index	standard	max. B	ASTM D 1925
Yield Stress	MPa	22*	ISO 527-1, 2
Flexural Modulus of Elasticity	MPa	1100*	ISO 178
Charpy Notched Impact Strength 23 °C	kJ/m ²	65*	ISO 179-1
-20 °C		7*	
Heat Deflection Temperature (HDT) 1,8 MPa	°C	52*	ISO 75-1, 2

* typical value

Issued by: Polyolefins Business Strategy Department
Phone: +420-47-616-3702
Fax: +420-47-616-5890

Contact: Sales Department
Phone: +420-47-616-3230
Fax: +420-47-616-2697

This document was prepared automatically through computer and therefore is not signed.

2007-10-17

Anexo 2: Ficha técnica GFPP

So.F.TER.

TECHNICAL DATA SHEET

POLIFOR L6 GF/30 NATURALE

POLYPROPYLENE HOMOPOLYMER 30% GLASS FIBER REINFORCED CHEMICALLY COUPLED

PROPRIETA'	Method	Unit	Typical Values	PROPERTIES
FISICHE				PHYSICAL
Densità (23°C)	ASTM D1505	g/cm ³	1,13	Density (23°C)
Ritiro allo stampaggio	INTERNAL	%	0,2-0,4	Mould Shrinkage
Melt flow index 230°C/2,16KG	ASTM D1238	g/10min	2,5	Melt flow index 230°C/2,16KG
Assorbimento all'equilibrio (50% UR • 23°C)	ISO 62	%	-	Humidity absorption at equilibrium (50% RH • 23°C)
MECCANICHE				MECHANICAL
Carico a snervamento a trazione	ASTM D638	MPa	90	Tensile strength at yield
Carico a rottura a trazione	ASTM D638	MPa	-	Tensile strength at break
Allungamento a rottura a trazione	ASTM D638	%	3	Tensile elongation at break
Modulo a trazione	ASTM D638	MPa	-	Tensile Modulus
Modulo a flessione	ASTM D790	MPa	5500	Flexural Modulus
IZOD, con intaglio (23°C)	ASTM D256	J/m	100	IZOD impact strength, notched (23°C)
Charpy, con intaglio (23°C)	ISO 179 1eA	KJ/m ²	-	Charpy impact strength, notched (23°C)
TERMICHE				THERMAL
Vicat B (50°C/h • 50 N)	ASTM D1525	°C	135	Vicat B (50°C/h • 50 N)
HDT (1,820 MPa)	ASTM D648	°C	-	HDT (1,820 MPa)
Test della biglia	IEC 335	°C	125	Ball pressure test
RESISTENZA ALLA FIAMMA				FLAME RESISTANCE
Indice di ossigeno (LOI)	ASTM D2883	%	-	Oxygen Index (LOI)
Resistenza alla fiamma (0,8 mm)	UL94	Class	-	Flame resistance (0,8 mm)
Resistenza alla fiamma (1,6 mm)	UL94	Class	HB	Flame resistance (1,6 mm)
Resistenza alla fiamma (3,2 mm)	UL94	Class	HB	Flame resistance (3,2 mm)
Ago ipodermico	IEC 695-2-2	-	-	Nozzle Flame test
Glow-wire Flammability Index (GWFI)	IEC 695-2-12	°C/ mm	-	Glow-wire Flammability Index (GWFI)
Glow-wire Ignition Temperature (GWIT)	IEC 695-2-13	°C/ mm	-	Glow-wire Ignition Temperature (GWIT)
Condotte striscianti (CTI) (Soluzione A)	IEC 112	VOLT	-	Comparative tracking index (CTI) (Solution A)
CONDIZIONI DI PROCESSO				PROCESSING CONDITIONS
Temperatura del cilindro	-	°C	190-230	Cylinder temperature
Temperatura dello stampo	-	°C	50-70	Mould temperature
Condizioni di essiccazione	-	hours - °C	-	Drying process

Note :

QUALITY ASSURANCE

Last update 08/11/2006

Testi effettuati a 23°C salvo diversamente specificato.
I dati riportati si intendono indicativi e non costituiscono specifica

Test temperatures : 23°C, unless otherwise stated
The values are to be considered typical and do not constitute a specification

SO.F.TER. SPA Granulati Termoplastici
via Mastro Giorgio, 1 • Z.I. Villa Selva • I-47100, FORLÌ, ITALY

TEL. +39 0543 790 411 softon@softerspa.com
FAX +39 0543 473 119 www.softerspa.com

Anexo 3: Ficha técnica PS

Product Information 04/2005 Polystyrol 158 K PS	 BASF The Chemical Company
---	--

Product description

Polystyrol 158 K is a heat resistant, rapid freezing general purpose grade. It is suitable for expanded sheet and film; for blends with high impact Polystyrol in heat contact applications, for transparent, resistant applications in blends with Styrolux.

Processing

Polystyrol 158 K can be injection molded at temperatures between 180 and 280°C. Recommended mold temperatures are between 10 and 60°C. Extrusion melt temperature should not exceed 240°C.

Applications

In blends with high impact polystyrene or Styrolux: thermoformed articles for packaging of dairy products, cups for hot beverages, eg. coffee cups with low heat shrinkage. As material for physically or chemically foamed sheet, eg. for meat trays or labels. Injection molded articles like audio cassette housings, parts for medical diagnostics.

Physical form and Storage

Polystyrol 158 K should be kept in its original containers in cool, dry place. Avoid direct exposure to sunlight. Polystyrol 158 K can be stored in silos.

Food legislation

If used unmodified and under appropriate processing conditions parts from Polystyrol 158 K comply with the usual requirements for food packaging. Detailed written confirmations (e.g. BGVO, FDA) are given on request. Please contact our regional sales office.

Product safety

During processing of Polystyrol 158 K small quantities of styrene monomer may be released into the atmosphere. At styrene vapour concentrations below 20 ppm no negative effects on health are expected. In our experience, the concentration of styrene does not exceed 1 ppm in well ventilated workplaces - that is where five to eight air changes per hour are made.

Note

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

Polystyrol 158 K



Typical values ¹⁾ at 23°C	Test method ²⁾	Unit	Values
Mechanical Properties			
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	3300
Stress at break	ISO 527-1/-2	MPa	55
Strain at break	ISO 527-1/-2	%	3
Flexural strength	ISO 178	MPa	103
Shear modulus	ISO 6721-2	MPa	1400
Charpy impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	<25
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	3
Ball indentation hardness	ISO 2039-1	MPa	150
Force	ISO 2039-1	N	358
Duration	ISO 2039-1	s	30
Thermal properties			
Vicat softening temperature VST/B/50	ISO 306	°C	101
Vicat softening temperature VST/A/120	ISO 306	°C	108
HDT A (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	86
HDT B (0.45 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	98
Processing			
Melt volume-flow rate MVR 200/5	ISO 1133	cm ³ /10min	3
Temperature	ISO 1133	°C	200
Load	ISO 1133	kg	5
Processing: Injection moulding (M), Extrusion (E), Blow moulding (B)	-	-	M.E
Melt temperature, injection moulding	-	°C	180 - 280
Mold temperature, injection molding	-	°C	10 - 60
Melt temperature, flat film	-	°C	200 - 240
Electrical properties			
Relative permittivity (100Hz)	IEC 60250	-	2.5
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 60250	-	2.5
Volume resistivity	IEC 60093	Ohm*m	>1E16
Surface resistivity	IEC 60093	Ohm	>1E14
Electric strength K20/P50	IEC 60243-1	kV/mm	135
Flammability			
UL 94 (d = 1,6 mm)	UL 94	class	HB
UL 94 (d = 3,2 mm)	UL 94	class	HB
Other properties			
Density	ISO 1183	kg/m ³	1048
Water absorption, equilibrium in water at 23°C	similar to ISO 62	%	<0.1
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	<0.1

Footnotes

1) If the product definition doesn't state otherwise.

2) Specimens according to CAMPUS.

BASF Aktiengesellschaft
67056 Ludwigshafen, Germany

Anexo 4: Preparação de provetes- reometria

Para a produção dos discos, o material em estudo é colocado em grânulos no interior dos moldes, o molde dos provetes é então inserido na prensa onde durante um intervalo de tempo se encontra sob uma pressão contínua.



Figura 5.1: Prensa George & Moore Hidraulic Press SER n°H558/X utilizada para a preparação dos discos.

Tabela 5.1: Variáveis utilizadas na produção de discos de todos os materiais.

<i>Variável</i>	<i>Valor (unidade)</i>
Temperatura	220 (°C)
Intervalo de tempo	6 (min)
Pressão	10 (ton)

Nas seguintes tabelas e na Figura 5.2 são apresentadas, as medições efetuadas em todos os provetes tracionados, estes valores demonstram a irregularidade de espessuras existentes nas fitas produzida.

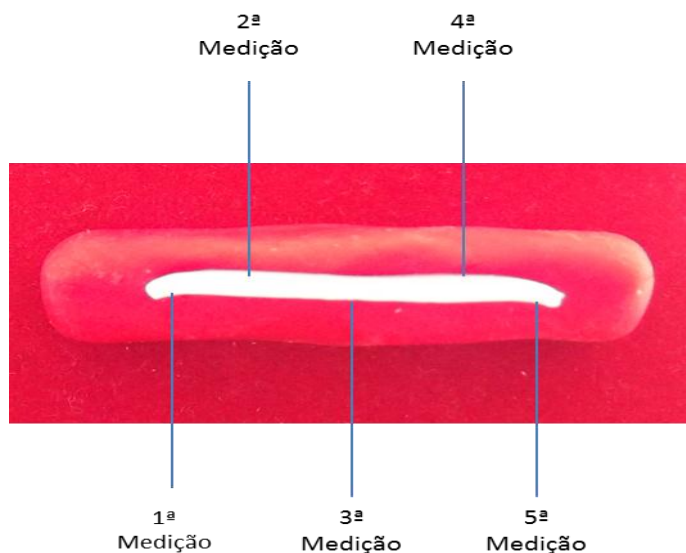


Figura 5.2: Localização do local das medições efetuadas nos provetes.

Anexo 5: Dimensões dos provetes de PP

Posição da alheta		Dimensões médias da fita			
		Sem alheta	28 mm	12 mm	2.9 mm
Espessura (mm)	1ª Medição	1.93	1.85	1.89	1.48
	2ª Medição	1.85	1.91	1.96	1.62
	3ª Medição	1.75	1.82	1.67	1.08
	4ª Medição	1.86	1.92	1.97	1.93
	5ª Medição	1.93	1.85	1.90	1.49
Largura (mm)		29.25	30.80	30.30	24.20

Anexo 6: Dimensões dos provetes de GFPP

Posição da alheta		Dimensões médias da fita			
		Sem alheta	28 mm	12 mm	2.9 mm
Espessuras (mm)	1 ^a Medição	2.21	1.70	1.85	2.12
	2 ^a Medição	2.33	1.95	1.75	2.16
	3 ^a Medição	2.00	1.56	1.74	2.05
	4 ^a Medição	2.29	1.94	1.80	2.16
	5 ^a Medição	2.21	1.72	1.85	2.10
Largura (mm)		37.50	29.45	29.55	30.05

Anexo 7: Dimensões dos provetes de PS

Posição da alheta		Dimensões médias da fita			
		Sem alheta	28 mm	12 mm	2.9 mm
Espessura (mm)	1 ^a Medição	2.45	2.32	2.46	2.48
	2 ^a Medição	2.65	2.40	2.55	2.54
	3 ^a Medição	2.70	2.37	2.19	1.84
	4 ^a Medição	2.83	2.45	2.40	2.65
	5 ^a Medição	1.50	2.35	2.32	2.40
Largura (mm)		32.30	30.65	31.85	30.55